

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Рябинин Александр Александрович

**МЕТОД КОНТРОЛЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО
ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ НА ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНУЮ
СТАБИЛЬНОСТЬ И ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА
МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

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 – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Современные методы и средства контроля эксплуатационных свойств моторных масел.....	9
1.1. Требования предъявляемые к моторным маслам и их эксплуатационным свойствам	9
1.2. Методы контроля эксплуатационных свойств моторных масел.....	11
1.3. Современные методы оценки термоокислительной стабильности	16
1.4. Методы контроля температурной стойкости смазочных материалов.....	18
1.5. Основные направления исследований по увеличению ресурса смазочных масел	26
2. Разработка комплексного метода контроля влияния предварительного термостатирования на эксплуатационные свойства моторных масел.....	33
2.1. Обоснование выбора смазочных масел для исследования.....	33
2.2. Конструктивные особенности средств контроля.....	34
2.2.1. Прибор для испытания на температурную стойкость	34
2.2.2. Прибор для определения термоокислительной стабильности.....	37
2.2.3. Фотометрическое устройство	39
2.2.4. Прибор для определения вязкости.....	40
2.2.5. Установка для исследования трущихся материалов.....	42
2.3. Метод контроля температурной стойкости моторных масел.....	43
2.4. Метод контроля влияния предварительного термостатирования на показатели термоокислительной стабильности.....	45
2.5. Методика исследования триботехнических характеристик термостатированных и окисленных моторных масел.....	48
2.6. Методика обработки экспериментальных данных	49

3. Результаты исследования влияния предварительного термостатирования на показатели термоокислительной стабильности моторных масел	54
3.1. Испытание минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC.....	54
3.2. Испытание частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD	66
3.3. Испытание синтетического моторного масла Mobil Super 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF	75
4. Практические рекомендаций по применению метода контроля влияния предварительного термо-статирования на эксплуатационные свойства моторных масел	86
4.1. Технология контроля влияния предварительного термостатирования на эксплуатационные свойства	86
4.2. Технология контроля влияния продуктов деструкции на противоизносные свойства	88
Библиографический список.....	100
Приложение	112

ВВЕДЕНИЕ

В двигателе внутреннего сгорания протекают процессы характеризующиеся термическими, механическими и химическими воздействиями, поэтому моторное масло, как элемент этой системы является индикатором интенсивности этих воздействий и оказывает влияние на ее надежность. Эти процессы интенсивно образуются на трущихся поверхностях в граничных слоях, поэтому для повышения сопротивляемости масел температурным воздействиям их легируют присадками, обеспечивая определенные моющее-диспергирующие, антиокислительные, противоизносные и вязкостно-температурные свойства. Однако эффективность совместного действия присадок на качество смазочных материалов изучено недостаточно. Кроме того, если учитывать, что указанные процессы протекают одновременно на поверхностях трения, то необходимо выделить основные, которые влияют на ресурс трибоэлементов. Основными показателями эксплуатационных свойств моторных масел являются их термоокислительная стабильность и температурная стойкость, определяющие температурные пределы их работоспособности. Кроме того, продукты окисления и температурной деградации определяют интенсивность химического воздействия на поверхности трения и образования защитных модифицированных слоев, повышающих противоизносные свойства масел. Поэтому разработка новых методов контроля процессов окисления и термоокислительной стабильности и влияния их продуктов на противоизносные свойства является актуальной задачей, интенсивное изучение которой позволит увеличить ресурс моторных масел согласно разработанных методик.

Научная идея заключается в разработке метода контроля влияния предварительного термостатирования моторных масел на активацию присадок, процессы окисления, противоизносные свойства и потенциальный ресурс.

Объект исследования – моторные масла как элементы трибосистем двигателя внутреннего сгорания.

Предмет исследования – количественная и качественная оценка влияния предварительного термостатирования на термоокислительные и противоизносные свойства выбранных для исследования моторных масел.

Степень разработанности темы. Научное и практическое значение представляют исследование влияния продуктов образующихся при предварительном термостатировании на процессы протекающие при окислении моторного масла и противоизносные свойства. С этой целью применен комплекс приборов включающий: прибор для испытаний на термостойкость масел в диапазоне температур от 140 до 320 °С; фотометрическое устройство для прямого фотометрирования; прибор для определения термоокислительной стабильности; малообъемный вискозиметр; прибор для испытания трущихся материалов; цифровой микроскоп; лабораторные весы, позволяющие определять оптические свойства, кинематическую вязкость, испаряемость и противоизносные свойства окисленных и термостатированных масел.

Исследования моторных масел разделили на в два этапа. Первый этап масла испытанием на термостойкость в диапазоне температур от 160 до 300 °С с повышением температуры на 20 °С при этом для каждой температуры определялись оптическая плотность, кинематическая вязкость, испаряемость и противоизносные свойства. На втором этапе термостатированные масла подвергались испытаниям на приборе для определения термоокислительной стабильности при температуре 180 °С с измерением тех же параметров.

Механизм температурной деструкции исследовался в работах Н.К. Мышкина, Г.И. Фукса, И.А. Буяновского, Г.И. Шора, Р.М. Матвеевского и др. в данных работах влияние продуктов температурной деструкции оценивалось противоизносными свойствами термостатированных масел, однако воздействие температуры на свойства масел не исследовалось.

Л.А. Кондаков, С.Е. Крейн, А.В. Непогодьеv, К.К. Папок, Н.И. Черножуков, Н.М. Эмануэль, В.А. Зорин внесли значительный вклад в исследование процессов окисления моторных масел. Обзор работ в данной области обоснован применением средств контроля, позволяющих оценивать процессы окисления по оптической плотности, изменениям кинематической вязкости, испаряемости и противоизнос-

ных свойств, что позволит обосновать показатель термоокислительной стабильности моторных масел и оценить влияние предварительного термостатирования на процессы окисления и противоизносные свойства.

Цель диссертационной работы. Повысить термоокислительную стабильность и противоизносные свойства моторных масел различных базовых основ методом контроля параметров предварительного термостатирования.

Задачи исследования.

1. Разработать метод контроля влияния предварительного термостатирования на термоокислительную стабильность и противоизносные свойства моторных масел различных базовых основ.

2. Исследовать влияние предварительного термостатирования моторных масел в диапазоне температур от 160 до 300 °С на изменение оптических свойств, кинематическую вязкость и термоокислительную стабильность. Обосновать критерии оценки.

3. Исследовать влияние продуктов температурной деструкции и окисления, предварительно термостатированных моторных масел, на противоизносные свойства, обосновать выбор оптимальной температуры предварительного термостатирования и критерии оценки.

4. Разработать практические рекомендации по повышению термоокислительной стабильности и противоизносных свойств моторных масел.

Методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось с применением методов контроля окислительных процессов и температурной стойкости моторных масел, экспериментальных теорий, теории трения, смазки и износа, методов контроля триботехнических и оптических исследований.

Выполнение работы проводилось с использованием поверенных стандартных и специально разработанных средств контроля и испытания приборы, а для обработки полученных экспериментальных исследований применялись методы математической статистики и регрессионного анализа.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных автором, доказаны теоретически и экспериментально, аргументированы

научные положения. Результаты работы и выводы подтверждены экспериментально с их математической обработкой, а так же сопоставимыми с результатами других авторов. Для исследования использованы специально разработанное оборудование, позволяющее измерять требуемые параметры с применением компьютерной техники согласно поставленных задач.

На защиту выносятся:

1. Метод контроля влияния предварительного термостатирования на термоокислительную стабильность, противоизносные свойства и ресурс моторных масел.

2. Результаты контроля влияния предварительного термостатирования на термоокислительную стабильность моторных масел различных базовых основ и критерии их оценки.

3. Результаты контроля влияния предварительного термостатирования на температурную стойкость моторных масел различной базовой основы и продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства.

4. Оптимальная температура предварительного термостатирования моторных масел различной базовой основы повышающая противоизносные свойства и термоокислительную стабильность.

5. Практические рекомендации по повышению термоокислительной стабильности и противоизносных свойств моторных масел различных базовых основ.

Научная новизна работы:

1. Разработан метод контроля влияния предварительного термостатирования моторных масел различных базовых основ, позволяющий повысить термоокислительную стабильность, противоизносные свойства и ресурс.

2. Получены функциональные зависимости и регрессионные уравнения процессов окисления и температурной деструкции моторных масел различных базовых основ, позволяющий оценить влияние предварительного термостатирования на количественные и качественные изменения термоокислительной стабильности, кинематической вязкости и противоизносных свойств.

3. Предложен критерий оценки влияния предварительного термостатирования моторных масел на процессы окисления и противоизносные свойства, что позволило оценить влияние базовой основы на эти показатели.

4. Установлены оптимальные температуры предварительного термостатирования, позволяющие повысить термоокислительную стабильность и противоизносные свойства моторных масел в зависимости от базовой основы.

Практическая значимость работы. На базе теоретических и экспериментальных исследований разработаны практические рекомендации, включающие: - технологию контроля влияния предварительного термостатирования на эксплуатационные свойства моторных масел; - технологию контроля влияния продуктов деструкции на противоизносные свойства моторных масел.

Реализация результатов работы. Результаты исследования использованы в учебном процессе Института нефти и газа Сибирского федерального университета, и внедрены в АО «Красноярскнефтепродукт» и подтверждены соответствующими актами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на:

VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА», 19–27 апреля 2012 года, Сибирский федеральный университет; VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА», 15–25 апреля 2013 года, Сибирский федеральный университет; на научно-технических семинарах кафедры «Топливообеспечение и ГСМ» Института нефти и газа, Сибирский федеральный университет, 2012–2016 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе шесть работ в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК. Список основных публикаций приведен в конце автореферата.

1 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

1.1 Требования предъявляемые к моторным маслам и их эксплуатационным свойствам

Моторное масло считается неотъемлемым элементом в конструкции двигателя внутреннего сгорания и обеспечивает необходимый ресурс двигателя при достаточно точном соотношении его свойств к механическим, термическим и химическим воздействиям. Современные моторные масла должны отвечать следующим требованиям [1]:

- высокая моющая, диспергирующе-стабилизирующая, пептизирующая и солюбилизирующая способность;
- высокие термическая и термоокислительная стабильность;
- повышенные противоизносные свойства;
- отсутствие коррозионного воздействия на материалы деталей;
- устойчивость к старению;
- совместимость с уплотнительными материалами;
- антикоррозионное воздействие на детали двигателя;
- отсутствие затруднений при транспортировании и хранении;
- низкая вспениваемость при повышенных и отрицательных температурах;
- низкая испаряемость.

Некоторые масла нуждаются в предъявлении к ним дополнительные требования. Масла с загущенными полимерными присадками, необходимы, обладать высокой стойкостью к механической и термической деструкции. Дизельные масла используемые в судовых двигателях должны обладать влагостойкостью присадок и низкой эмульгируемостью с водой.

К эксплуатационным свойствам моторных масел относятся моюще-диспергирующие, обеспечивающие чистоту деталей двигателя, а так же поддер-

жание продуктов окисления и загрязнения во взвешенном состоянии. Механизм действия моющих присадок заключается в препятствовании коагуляции частиц загрязнений, что затрудняет их объединение в крупные агрегаты.

Антиокислительные свойства определяют стойкость масел к старению. Окисление масла в двигателях наиболее интенсивно происходит в тонких пленках на поверхностях трения, нагреваемых до высоких температур. На скорость и глубину процессов окисления значительно влияют продукты частичного сгорания топлива, попадающие в масло вместе с газами, через надпоршневое пространство в картер.

Добавление в моторное масло антиокислительных присадок, обладающих различными механизмами действия достигается повышает стойкость к окислению.

Необходимо отметить, что полное истощение антиокислительных присадок в масле вызывает интенсивный рост кинематической вязкости. Устойчивость моторного масла к окислению косвенно характеризуется в стандартах и технических условиях периодом индукционного осадкообразования [2]. Антиокислительные свойства масел при моторных испытаниях оцениваются по увеличению вязкости за время работы установки ИКМ [3]. От химического состава и полярности зависят противоизносные свойства моторных масел определяющие ресурс двигателя. Эти свойства зависят от свойств граничных слоев и способности масла с присадками модифицировать поверхностные слои сопряженных трущихся деталей, образуя комплексные соединения на поверхностях трения с продуктами окисления и присадками.

Важнейшей характеристикой масла при использовании топлива с повышенным содержанием серы является его способность предотвратить коррозионный износ за счет нейтрализующей способности, показателем которой служит щелочное число.

Трибологические характеристики на многие масла нормированы стандартами и техническими условиями. Процесс производства масла контролируется с использованием четырехшариковой машины трения (ГОСТ 9490–75).

Масла, производимые из малосернистых нефтей с высоким содержанием парафиновых углеводородов, увеличивают коррозионность за счет образования

в процессе окисления агрессивных органических кислот. Антикоррозионные присадки образуют на поверхностях антифрикционных материалов прочную защитную пленку, препятствуют образованию агрессивных кислот.

Согласно (ГОСТ 20502–75) оценка антикоррозионные свойства моторных масел в лабораторных условиях происходит по потере массы свинцовых пластин за 10 или 25 ч испытания при температуре 140 °С. При моторных испытаниях антикоррозионные свойства масел оценивают по потере массы вкладышей шатунных подшипников полноразмерных двигателей или на одноцилиндровых установках ИКМ или Petter W-1 [1].

Летние масла имеют достаточную вязкость при высоких температурах, а зимние – обеспечивают холодный пуск двигателя при пониженных температурах, но имеют недостаточную вязкость при высоких температурах. Согласно такому поведению вязкости сезонные масла необходимо менять два раза в год независимо от пробега, что усложняет и удорожает эксплуатацию двигателей, поэтому созданы всесезонные масла, загущенные полимерными присадками. Полимерные присадки воздействуют на вязкость базовой основы моторного масла незначительно повышая ее при низкой температуре, но значительно увеличивают ее при высокой температуре.

Температура застывания одна из основных низкотемпературных характеристик моторного масла, при которой масло не изменяет свое состояние согласно первого закона Ньютона. Согласно нормативной документацией требуемая температура застывания достигается депарафинизацией компонентов базовой углеводородной основы или введением депрессорных присадок полиметакрилатов, алкилнафталинов и др.

1.2 Методы контроля эксплуатационных свойств моторных масел

При выборе моторных масел основное внимание уделяется противоизносным, противозадирным и антикоррозионным свойствам, так как они влияют на

ресурс и надежность двигателей. Эти свойства по классификации Ю.А. Розенберга относятся к смазочным, а другие к служебным [4]. Смазочные свойства зависят от содержания противоположно активных химических веществ, образующих на трущихся поверхностях защитные масляные пленки, снижающие износ, коэффициент трения и увеличивающие давление схватывания. В процессе эксплуатации двигателя моторные масла окисляются, образуя низкомолекулярные кислоты, способные улучшить смазывающие свойства. Таким образом достигается качество работающих масел над товарными [5–10].

Процесс старения моторных масел характеризуется образованием примесей в период эксплуатации, состав, концентрация и химическая структура которых являются предпосылками для разработки методов контроля, подразделяемые на количественные и качественные. Массовое количество твердых отложений определяют количественным методом согласно ГОСТ 6370–59 и 12375–66. Высокая концентрации продуктов старения применяют объемные методы контроля, предусматривающие центрифугирование, однако точность объемных методов невысока. Гранулометрический состав продуктов старения масел определяется седиментационным и методом с применением оптических микроскопов. Исследование размера частиц по скорости осадкообразования в масле характеризует седиментационный метод. Широкое применение нашли оптические методы седиментационного анализа. Эти методы используются при контроле технологических процессов при производстве масел [11, 12]. Фотометрические методы широко применяются при контроле термоокислительной стабильности и температурной стойкости товарных масел [13–17].

Методы с применением оптических микроскопов характеризует гранулометрический состав продуктов старения согласно чему производится подсчет частиц заданного размера, что важно при оценке противоизносных свойств масел. Гранулометрический состав в масле определяют фильтрацией через беззольные бумажные фильтры. Применение центрифугирования позволяет по плотности осадка судить о наличии моюще-диспергирующих присадок в масле.

Лабораторным методом определяется химический состав загрязнений в эксплуатируемом масле, что позволяют исследовать механизмы окисления, температурной деструкции и загрязнения эксплуатационными примесями.

Для оценки качества масел в период эксплуатации техники целесообразно применение методов определения воды, так как она омыляет присадки и оказывает влияние на противоизносные свойства [18, 19].

Качество масел исследуется методами оценки смазывающих свойств на специальных лабораторных машинах трения и стендах в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, например испытания на четырехшариковой машине трения в пластинчатом насосе [20–22]. Перспективным является метод с применением прибора для испытания трущихся материалов [23–25], в котором каждый из трех шаров соприкасается с цилиндром по индивидуальной дорожке трения, это дает возможность точно определить протекание на контакте трения механохимических процессов.

Оценка объемной вязкости в зоне трения происходит непосредственно акустическим методом [26–27], а применительно к жидкостному трению методы [28–29].

В работе [30] изнашивание исследовали путем пропускания тока через контакт трущихся деталей и измерения его постоянной составляющей. Работы [31–35] описывают исследование износа на фрикционном контакте.

Температурную стойкость рекомендуется считать показателем качества масел в условиях граничной смазки, характеризующую способность масел разделять поверхности трения при интенсивном тепловом воздействии образованием комплексных соединений, повышающих нагрузку схватывания [36–38].

Среди ускоренных методов контроля работающих масел в работах [39, 40] предлагается критерий физической стабильности, измеряемый оптической плотностью масла до и после центрифугирования.

Диагностика машин допускается с применением метода [4], позволяющего определить величину износа отдельно выбранного механизма трибосистемы.

С повышенной корреляцией темпа износа на данный момент доступно достаточное количество показателей оценки предельного и рабочего состояния масел. В работе [42] принято в качестве критерия количество отложений на деталях двигателя. Подразделяющиеся на две группы. Первая дает характеристику смазочных свойств по следующим показателям: давление схватывания; скорость скольжения, сопровождаемая повышением температуры; скоростной показатель износа и величина трения; термостойкость масла. Вторая характеризует служебные свойства: кинематическую вязкость, кислотность, температуру вспышки, диспергирующую способность, содержание воды и серы в топливе [9]. Критическая температура рекомендована в качестве критерия работоспособности смазочного масла при граничном трении [8].

Оценка работоспособности дизельных масел происходит по максимальным значениям групп единичных показателей качества [43, 44], в качестве которых выбраны: кинематическая вязкость, концентрация охлаждающей жидкости и топлива. Качественные показатели для тяжело нагруженных дизельных двигателей приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Качественные показатели масла для тяжело нагруженных дизельных двигателей

Состояние масла	Содержание топлива в масле, масс%	pH	Содержание воды, масс %	Изменение вязкости, %
Годное	–	≥ 6	–	–
Допустимое	≤ 3	5,5–4,5	$\leq 0,2$	$\leq 25-30$
Предаварийное	≤ 7	–	–	–
Аварийное	≥ 7	≤ 4	1,0	–

Контроль количества сажи играет огромную роль, так как высокая ее концентрация в масле приводит к утрате диспергирующе-стабилизирующих и противоизносных свойств, образованию шлама, критическому повышению вязкости, скорому выходу из работоспособного состояния фильтров. Существующие методы контроля концентрации сажи представлены на рисунке 1.1.

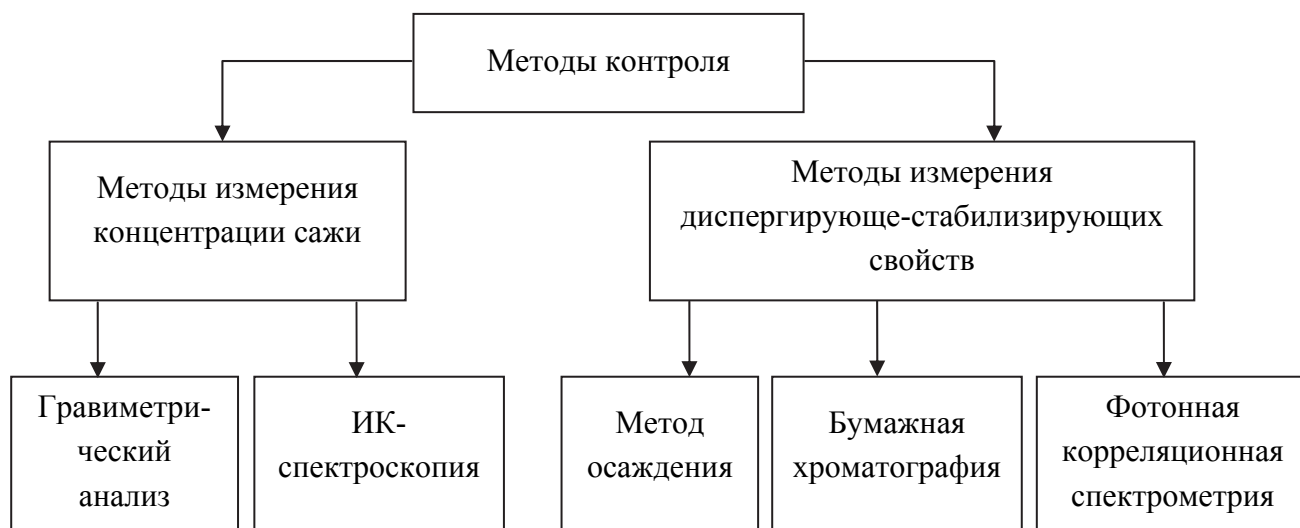


Рисунок 1.1 – Классификация лабораторных методов контроля сажевых загрязнений в моторном масле

Рассмотренные методы и критерии оценки состояния работающих масел в период эксплуатации двигателей применяются в основном при лабораторных и стендовых испытаниях, поэтому широкого применения в эксплуатации они не нашли ввиду сложности определения критериев, необходимости оснащения предприятий дорогостоящим оборудованием и создания специальных служб диагностики.

В настоящей работе для контроля изменения эксплуатационных свойств моторных масел принят фотометрический метод, как наиболее экономичный и перспективный для применения на производственных предприятиях. Для этого его необходимо исследовать при определении термоокислительной стабильности и температурной стойкости.

Выводы:

В настоящей работе для контроля изменения эксплуатационных свойств моторных масел принят фотометрический метод как наиболее экономичный и перспективный для применения на производственных предприятиях. Для этого его необходимо исследовать при определении термоокислительной стабильности и температурной стойкости масел.

1.3 Современные методы оценки термоокислительной стабильности

Стойкость смазочных масел к окислению повышают легированием термоокислительными присадками, однако интенсивность действия присадок при длительной эксплуатации падает.

Метод [45] позволяет оценивать по лакообразующим свойствам масел термоокислительную стабильность. Метод контроля осуществляется с помощью стандартного лакообразователя из нагревательных пластин и предусматривает определение рабочей фракции и лака.

Способ [46] заключается в измерении электрического потенциала для определения стабильности касаемой растворов присадок в маслах.

Согласно способу [47] отбирают пробу масла, выдерживают ее в водном растворе электролита при 70–150°C или 1–5 % массы воды. Количество выпавшего сухого осадка служит показателем стойкости масла к шлакообразованию, а по увеличению вязкости пробы масла оценивают термоокислительную стабильность.

По способу, предложенному в работе [48], пробу смазочного масла нагревают, перемешивают и определяют параметры процесса окисления, испытывают пробу масла двумя методами. Первый предусматривает нагревание масла от минимальной до максимальной температуры, причем при каждой температуре пробу выдерживают в течение определенного времени, фотометрируют, определяют оптическую плотность, по которой устанавливают начало процесса окисления.

По второму методу предусматривается нагрев масла до температуры, критической для начала окисления и ее поддержания, далее происходит замер оптической плотности после определенных интервалов времени. Затем строят графические зависимости оптической плотности от времени окисления, по которым определяют количественный показатель скорости окисления моторного масла.

Способ, описанный в [49], позволяет определить степень загрязненности работающего моторного масла измерением физических параметров исходного

и работающего масел, а затем вычислить степень загрязненности. В качестве физических параметров используют плотность исходного и работающего масла и плотность нерастворимых в масле продуктов старения.

Существует множество стандартных методов определения термоокислительной стабильности. Так, ГОСТ 20457–75 [3] предусматривает испытание масла на установке ИКМ в течение 40 ч и последующую оценку антиокислительных свойств по изменению вязкости масла и отложениям на поршне. Увеличение вязкости V за время испытания Y определяют по формуле

$$Y = \frac{\Delta V_{50}}{V_{50}} 100 \%, \quad (1.1)$$

где ΔV_{50} – увеличение вязкости за время испытания, $\text{мм}^2/\text{с}$;

$$\Delta V_{50} = \Delta V'_{50} - V_{50}, \quad (1.2)$$

где $\Delta V'_{50}$ – кинематическая вязкость масла при $50\text{ }^\circ\text{C}$ после 40 ч испытания,

V_{50} – кинематическая вязкость масла при $50\text{ }^\circ\text{C}$ до испытания, $\text{мм}^2/\text{с}$.

По ГОСТ 11063 [2] определение стабильности по индукционному периоду осадкообразования в моторных маслах с присадками. Масло окисляется при $200\text{ }^\circ\text{C}$ в приборе ДК-НАМИ с последующим измерением осадка и вязкости окисленного масла.

Массовая доля осадка в окисленном масле определяется по формуле

$$X_o = \frac{m_2 - m_1}{m} 100 \%, \quad (1.3)$$

где m_2 – масса бюксы с фильтром и осадком, г;

m_1 – масса бюксы с чистым фильтром, г;

m – масса навески окисленного масла, г.

Практическое применение фотометрического метода контроля термоокислительной стабильности смазочных масел различного назначения и базовой основы изложены в работах [59–61].

Краткий анализ [50–55] исследования методов контроля термоокислительной стабильности смазочных масел наглядно показывает, что методическая база позволяет исследовать большинство показателей при окислении и тем самым расширять информацию о качестве различных смазочных масел. Из результатов количественного анализа установлено, что оценка качества моторных масел должна быть комплексной и учитывать связь вышеупомянутых показателей термоокислительной стабильности с триботехническими характеристиками.

1.4 Методы контроля температурной стойкости смазочных материалов

Температурная стойкость смазочных масел является важным эксплуатационным показателем, определяющим температурную область деструкции базовой основы и действие противозадирных присадок. Данный показатель определяется непосредственно при трении или по величине износа от температуры испытания смазочного масла [8], или объему лаконагарообразования [62] и оптической плотности [63].

Метод [63] определения термической стабильности смазочных масел заключается в том, что пробу отработанного масла нагревают при заданной температуре и перемешивают при атмосферном давлении без доступа воздуха с конденсацией паров и отводом конденсата. Время испытания не менее трех часов. Термически испытанную пробу подвергают исследованию на приборе для прямого фотометрирования при толщине фотометрируемого слоя 0,15 мм для определения коэффициента поглощения светового потока $K_{\text{п}}$, что позволяет оценить общую концентрацию продуктов загрязнения в масле (растворимых и нерастворимых). Определяют кинематическую вязкость $\mu_{\text{т}}$, центрифугируют и повторно фотометрируют для определения концентрации растворимых продуктов $K_{\text{пц}}$. Определяют коэффициент энергетического состояния $K_{\text{э}}$ термостатированного масла из выражения

$$K_3 = 1 - \frac{K_{\text{п}} \mu_{\text{т}}}{\mu_{\text{исх}}}, \quad (1.4)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент поглощения светового потока термически испытанного масла до центрифугирования;

$\mu_{\text{т}}$ – вязкость работавшего масла после термических испытаний, мм²/с;

$\mu_{\text{исх}}$ – вязкость исходного товарного масла, мм²/с.

Данный показатель K_3 характеризует процесс температурной деструкции присадок относительно температуры испытания.

Вторую пробу отработанного масла испытывают по той же технологии, но при температуре выше на 10 или 20 °С и измеряют те же параметры, наблюдая за образованием нагара. При этом температуру испытания увеличивают до тех пор, пока появится нагар.

На рисунках 1.2 и 1.3 отображены результаты испытания отработанных: минерального масла Шеврон 15W-40 и синтетического Mobil 0W-40 SJ/CF.

Термическую стабильность отработанных масел определяют по изменению: вязкости при увеличении температуры испытания; коэффициента энергетического состояния; температуры нагара нагараобразования.

Кинематическая вязкость масел η при испытании на термическую стойкость изменяется в результате увеличения концентрации продуктов температурной деструкции базовой основы и легирующих присадок.

Коэффициент энергетического состояния K_3 уменьшается с увеличением температуры испытания в результате изменения в масле количественного показателя присадок.

Температура начала нагараобразования зависит от времени работы смазочного масла. С увеличением времени работы температура нагараобразования уменьшается.

Судя по результатам испытания (рисунки 1.2 и 1.3), термическую стойкость моторных масел Шеврон 15W-40 и Mobil 0W-40 определяют при температуре 260 °С, так как увеличение температуры испытания выше 260 °С приводит к рез-

кому изменению параметров, характеризующих температурную стойкость смазочных масел.

Предложенный метод контроля обладает большей информативностью и позволяет определить температурную стойкость отработанных смазочных масел и оценить необходимость их замены, а при статстическом наборе информации корректировать ресурс.

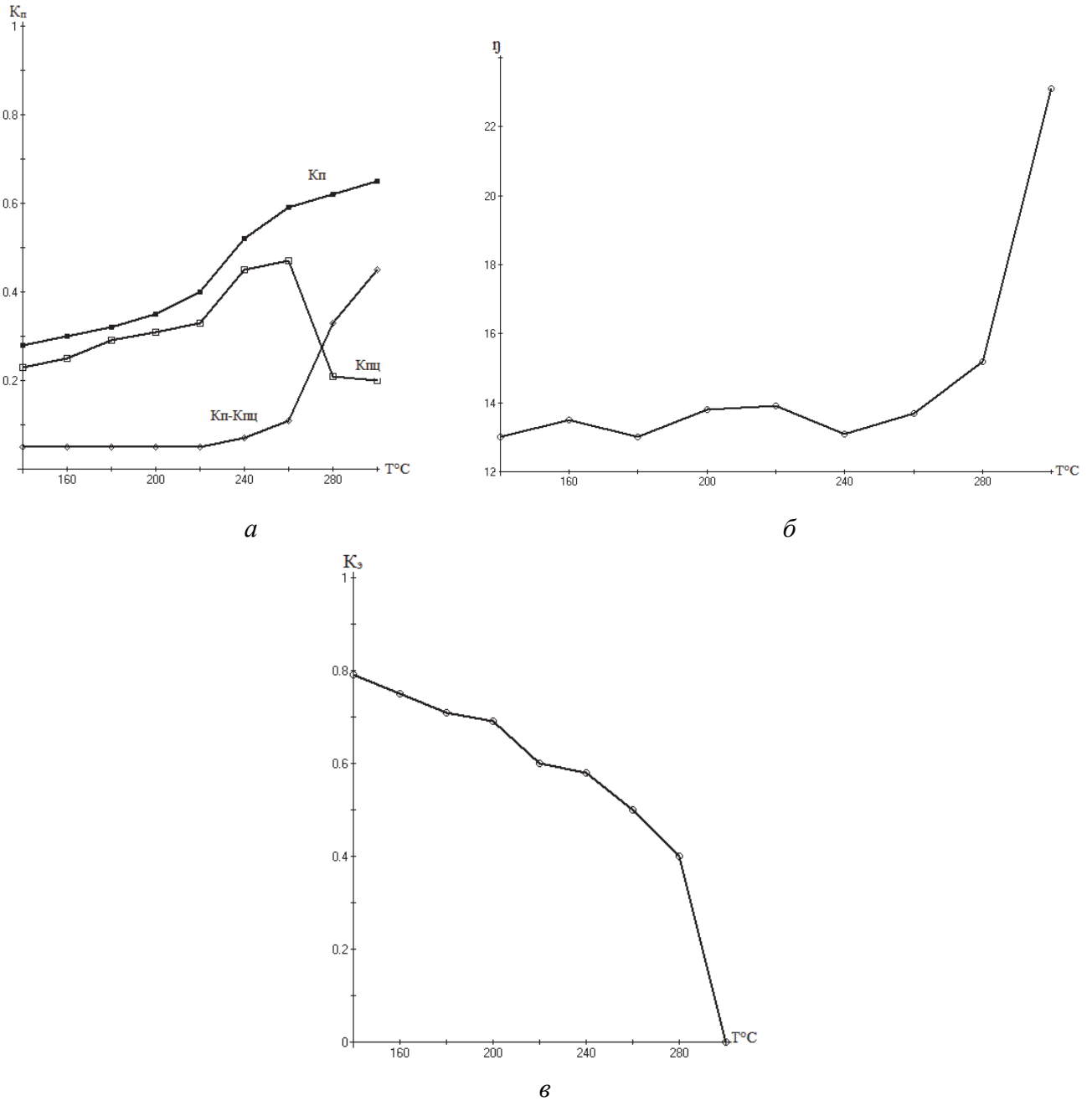


Рисунок 1.2 – Зависимости: коэффициентов поглощения светового потока $K_{п}$ и $K_{пц}$ и их разности $K_{п} - K_{пц}$ (а); вязкости η (б) коэффициента энергетического состояния $K_{э}$ (в) отработанного минерального моторного масла Шеврон 15W-40 от температуры испытания

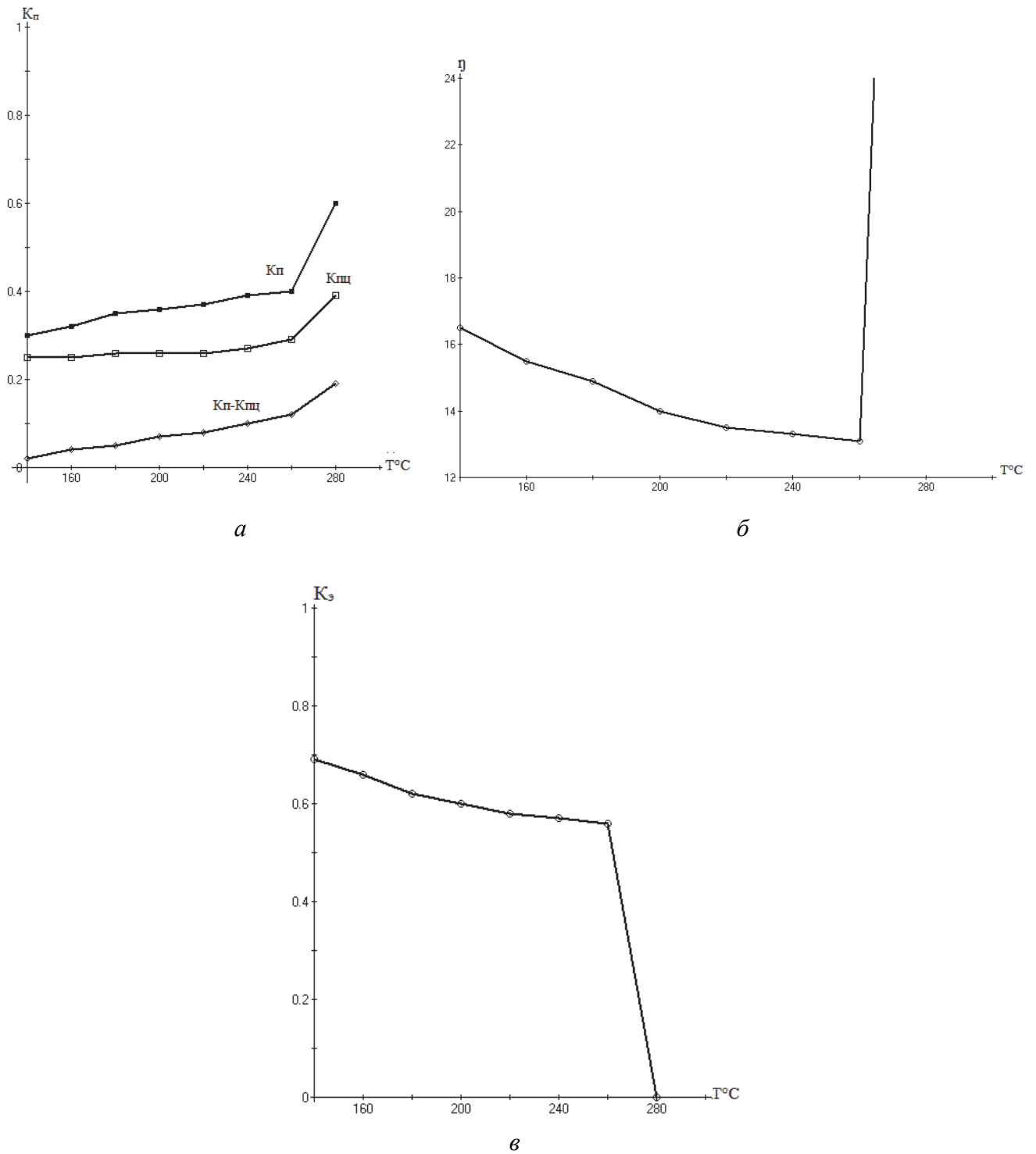


Рисунок 1.3 – Зависимости: коэффициентов поглощения светового потока $K_{\text{п}}$ и $K_{\text{пш}}$ и их разности $K_{\text{п}} - K_{\text{пш}}$ (а); кинематической вязкости η (б); коэффициента энергетического состояния $K_{\text{э}}$ (в) отработанного синтетического масла Mobil 0W-40 SJ/CF от температуры термостатирования

Метод [64] определения температурной стойкости смазочных масел заключается в определении коэффициента поглощения светового потока $K_{\text{п}}$, коэффициента испарения $K_{\text{г}}$ как отношения массы испарившегося масла к массе пробы до

испытания и коэффициента сопротивляемости температурной деструкции R_g , вычисляемого по формуле

$$R_g = 1 - \frac{K_{II} K_g}{K_{II} + K_g}. \quad (1.5)$$

По графической зависимости коэффициента сопротивления температурной деструкции от температуры испытания определяют сопротивляемость исследуемого масла температурной деструкции.

На рисунке 1.4 представлены зависимости коэффициента сопротивления температурной деструкции от температуры испытания моторных масел.

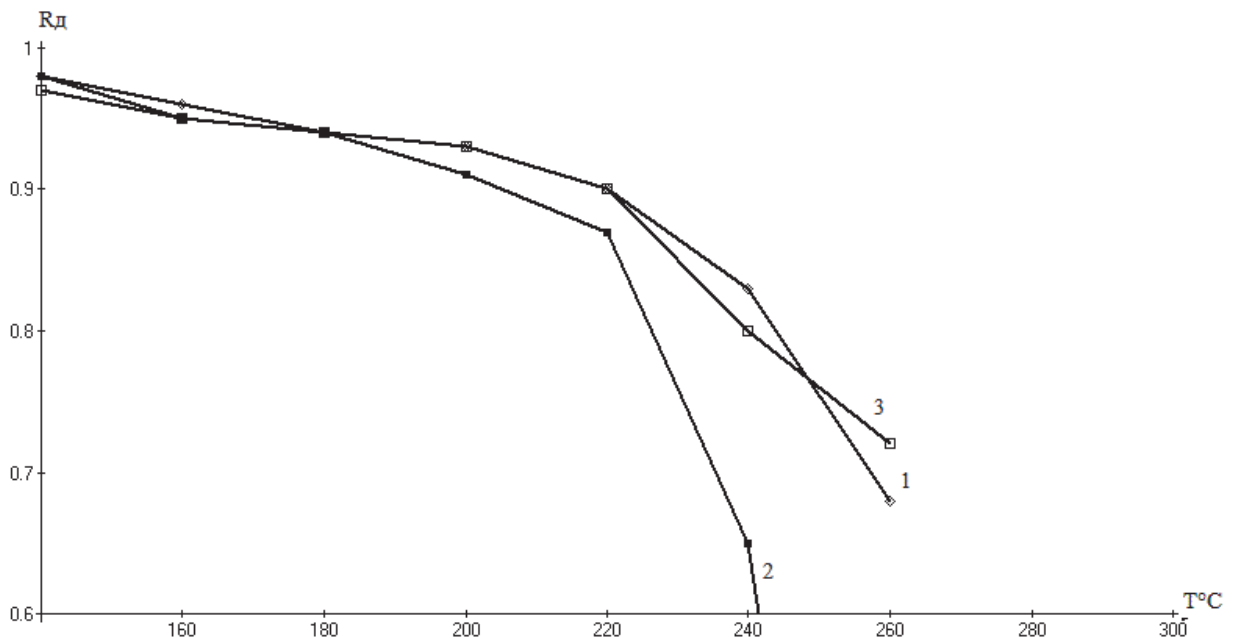


Рисунок 1.4 – Зависимости коэффициента сопротивления температурной деструкции R_g от температуры испытания моторных масел: 1 – минерального Spectrol Super Universal 15W-40 SF/CC; 2 – частично-синтетического ТНК 10W-40 SL/CF; 3 – синтетического Mobil Super 3000 5W-40 SJ/CF

Технология контроля заключается в следующем: пробу масла постоянной массы термостатируют в специальном приборе без доступа воздуха с конденсацией паров и отводом конденсата в температурном интервале 140–260 °С в течение постоянного времени с увеличением температуры на 20 °С. Температура за время испытания поддерживается автоматически с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$.

После термостатирования при каждой температуре пробу масла взвешивают, определяют массу испарившегося масла как разность массы пробы до и после испытания и коэффициент испарения K_g как отношение испарившейся массы к массе оставшейся пробы. Часть пробы фотометрируют для определения коэффициента поглощения светового потока $K_{\text{п}}$. Так как дисперсная система масла не может неограниченно поглощать тепловую энергию, то избыток ее сбрасывается в виде продуктов деструкции и испарения. Количество образующихся продуктов зависит от сопротивляемости испытуемого масла температурным воздействиям, поэтому принимается за единицу сопротивляемость масла. По формуле (1.5) определяется зависимость изменения его сопротивляемости от температуры выбранной для испытания (см. рисунок 1.4).

По результатам экспериментальных испытаний строят графические зависимости коэффициента сопротивляемости температурной деструкции R_g от температуры испытания. Температурную стойкость исследуемого масла определяют по изменению коэффициента сопротивляемости. Чем больше коэффициент сопротивляемости R_g , тем выше сопротивляемость и температурная стойкость испытуемого масла.

Согласно данным рисунка 1.4 более термостойким является синтетическое моторное масло Mobil Super 3000 5W-40 SJ/CF (кривая 3) при температуре 260 °С, а частично-синтетическое масло (кривая 2) менее термостойкое.

Предложенный метод позволяет наглядно определить температуру исследуемого масла, при которой у него будет наблюдаться наиболее высокая термостойкость.

В методе [65] исследовано преобладающее влияние продуктов окисления или температурной деструкции на триботехнические характеристики смазочных масел с различной базовой основой. Установлены общие закономерности изменения противоизносных свойств от концентрации продуктов окисления и температурной деструкции, выраженные критерием противоизносных свойств:

– для окисленных масел

$$\Pi_o = K_{\text{по}}/U_o, \quad (1.6)$$

– термостатированных масел в диапазоне температур от 140 до 300 °

$$\Pi_{\text{тс}} = K_{\text{пт}}/U_{\text{т}}, \quad (1.7)$$

где $K_{\text{по}}$ и $K_{\text{пт}}$ – коэффициенты поглощения светового потока при окислении и температурной деструкции;

U_{o} и $U_{\text{т}}$ – диаметры пятна износа при триботехнических испытаниях окисленных и термостатированных масел.

Установлена линейная зависимость критериев противоизносных свойств окисленных и термостатированных масел и предложен обобщающий показатель противоизносных свойств ОПП, определяющий преобладающее влияние продуктов окисления и температурной деструкции на триботехнические характеристики исследуемых масел:

$$\text{ОПП} = V_{\text{по}}/V_{\text{пт}}, \quad (1.8)$$

где $V_{\text{по}}$ и $V_{\text{пт}}$ – соответственно скорости изменения критериев противоизносных свойств при деструкции и окислении моторных масел.

Данный метод контроля товарных и работающих моторных масел позволяет получить дополнительную информацию о влиянии продуктов окисления и температурной деструкции на износ деталей, а также определить основные направления работы в области по улучшению качества масел.

В работе [66] предложен метод контроля влияния продуктов температурной деструкции и электрического потенциала на триботехнические характеристики моторных масел. Оценка процессов температурной деструкции производилась по коэффициенту поглощения светового потока $K_{\text{п}}$, испаряемости и кинематической вязкости. Установлено, что процесс температурной деструкции описывается кусочно-линейными функциями:

$$K_{\text{п}} = a (T - T_{\text{н}}), \quad (1.9)$$

где a – коэффициент, определяющий скорость образования первичных и вторичных продуктов деструкции;

T – температура испытания, °С;

T_n – температура при которой происходит образование первичных и вторичных продуктов деструкции, °С.

Термостатирование масел приводит к изменению концентрации первичных и вторичных продуктов деструкции, то они выбираются для характеристики противоизносных свойств. В работе критерием для определения противоизносных свойств масел Π предложено отношение коэффициента поглощения светового потока к параметру характеризующему износ, а зависимость критерия противоизносных свойств от оптической плотности описывается линейным уравнением

$$\Pi = a K_{\Pi}, \quad (1.10)$$

где a – коэффициент, характеризующий скорость изменения критерия прочностных свойств.

Установлено, что при схеме трения «шар – цилиндр» и положительном потенциале на шарах противоизносные свойства повышаются с увеличением тока. При отрицательном потенциале противоизносные свойства повышаются только для токов 100 и 200 мкА, а дальнейшее повышение отрицательного потенциала их понижает.

Данный метод контроля позволяет расширить информацию о влиянии продуктов температурной деструкции и электрического потенциала на триботехнические характеристики моторных масел.

В работе [67] предложен метод контроля влияния температуры и механической нагрузки на триботехнические характеристики моторных масел с применением фотометрии и машины трения со схемой «шар – цилиндр».

Зависимости величины диаметра пятна износа от температуры термостатирования характеризуются тремя областями независимо от базовой основы масел, но различаются показателем износа и температурой исследования. В низкотемпературной области износ минимальный, но с переходом в среднетемпературную область износ резко увеличивается, а в высокотемпературной области он стремится к стабилизации за счет действия противоизносных и противозадирных присадок. В работе показано, что с увеличением нагрузки на пару трения противоизносные свойства исследуемых масел понижаются и зависят от базовой основы.

В работах [68–76] приведены результаты исследования температурной стойкости смазочных масел различной базовой основы и назначения, установлены особенности механизма температурной деструкции и влияния его продуктов на противоизносные свойства и индекс вязкости.

В результате проведенного анализа в области исследования температурной стойкости масел установлено, что в настоящее время широко применяется триботехнический метод контроля и оптический метод в сочетании с триботехническим. Второй позволяет оценить влияние концентрации продуктов температурной деструкции на триботехнические свойства смазочных масел и сформировать новое направление по повышению их качества.

1.5 Основные направления исследований по увеличению ресурса смазочных масел

Ресурс работающего моторного масла зависит от конструкции двигателя, степени его форсирования, состояния системы фильтрации и охлаждения, а также качества самого масла.

В процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания моторные масла стареют, загрязняясь продуктами окисления, температурной деструкции, износа, неполного сгорания топлива. В каждом конкретном случае скорость старения масла зависит качества очистки системой фильтрации, герметичности масляной системы и системы охлаждения, качества применяемого топлива.

В настоящее время ресурс моторного масла устанавливается заводами изготовителями на основе моторных и полигонных испытаний техники и регламентируется в километрах пробега и моточасах. Такая система несовершенна, поскольку не учитывает ряд факторов. На ресурс смазочного масла оказывает влияние количество и типы доливов, герметичность масляной системы, техническое состояние двигателя и режимы и условия его работы. При частых доливах в больших объемах масло не в полном объеме восстанавливает свои свойства, следовательно, ресурс должен увеличиваться. Однако существующая система планово-

предупредительных ремонтов этого обстоятельства не учитывает, кроме того на предприятиях отсутствуют средства контроля.

Второй проблемой характеристики ресурса моторных масел выявлено появление большого количество масел иностранного происхождения различной базовой основы, для которых также необходимо устанавливать ресурс. Эту проблему можно решить только путем оснащения предприятий, применяющих различную технику, средствами контроля за состоянием масел в процессе эксплуатации и технологиями оценки, что обеспечит максимальный экономический эффект.

Динамика накопления продуктов старения в двигателе подчинена экспоненциальному закону [77]:

$$K = K_0 e^{\frac{\varphi_g + \varphi_{\Pi}}{Q} t} + \frac{\varphi_3}{\varphi_g + \varphi_{\Pi}} \left(1 - e^{\frac{\varphi_g + \varphi_{\Pi}}{Q} t} \right), \quad (1.12)$$

где K – концентрация продуктов старения в работающем масле, кг/кг;

K_0 – начальная концентрация продуктов старения, кг/кг;

φ_g – средняя скорость долива масла в картер вследствие угара и утечек, кг/ч;

φ_{Π} – приведенная скорость циркуляции масла в системе фильтрации, кг/ч;

φ_3 – скорость поступления продуктов старения в работающее масло, кг/ч;

Q – средняя масса масла в картере, кг;

t – время работы двигателя без смены масла, ч.

Концентрацию активной присадки в масле можно описывать экспоненциальной зависимостью [77]:

$$K_{\Pi} = K_0 \left[-\frac{1}{1 + \varphi_{\Pi}/\varphi_g} + \frac{1}{1 + \varphi_{\Pi}/\varphi_g} e^{\frac{\varphi_g + \varphi_{\Pi}}{Q} t} \right], \quad (1.13)$$

где K_{Π} – концентрация активной присадки, кг/кг;

K_0 – начальная концентрация активной присадки, кг/кг;

φ_{Π} – приведенная скорость срабатывания присадки, кг/ч;

φ_g – средняя скорость долива масла в картер вследствие угара и утечек, кг/ч;

$$\varphi_{\Pi} = \varphi_g / K_0. \quad (1.14)$$

Статистический способ оценки качественного резерва масла включает определение его состояния на основе средней скорости срабатывания присадки, восстановление свойств с целью увеличения срока службы за счет долива в картер свежего масла с повышенной концентрацией многофункциональной присадки [78].

В работе [77, 78] предложен способ увеличения периодичности смены моторных масел за счет применения дополнительных промежуточных контрольных уровней интенсивности долива, равных 0,0004; 0,0008; 0,0012 доли от веса или объема масла в картере за один час работы.

Этот способ не несет дополнительных затрат, нужно только выполнять требования по учету расхода масел на долив для каждого двигателя и определению удельного расхода, отнесенному к одному часу работы или пробегу автомобиля. Однако данный метод не учитывает качественного изменения концентрации продуктов старения в работающем масле при увеличении доливов и состояния системы фильтрации.

Причиной увеличения доливов является износ цилиндров поршневой группы двигателя внутреннего сгорания, вследствие чего продукты неполного сгорания топлива попадают в картер двигателя в следствие чего изменяется состав продуктов старения масла, которые оказывают воздействие на противоизносные и коррозионные свойства. Кроме того, вместе с продуктами неполного сгорания в картер попадают пары воды, которые увеличивают коксуемость масел, а значит, сокращают ресурс фильтров очистки самого двигателя, влияют на триботехнические характеристики масел. Известен ряд методов которые устанавливают сроки замены масла в двигателях внутреннего сгорания по следующим показателям [80]:

- загрязненность, дисперсность и щелочность масла;
- кислотность;
- окраска;
- кинематическая вязкость работающего масла;
- содержание железа;
- толщина слоя отложений в реактивной масляной центрифуге.

Часть методов в значительной степени условна и зависит от многих факторов, а более объективные – трудоемки и непригодны к применению в условиях эксплуатации техники.

Комплексный метод [40] предусматривает использование метода прямого фотометрирования моторных масел, определение воздействия продуктов старения на механизм изнашивания, что позволяет четко откорректировать сроки замены в зависимости от качественного и количественного состава нерастворимых продуктов старения, влияющих на электропроводность фрикционного контакта трущихся детали.

В работе [81] представлен способ определения работоспособности смазочных масел предусматривает оценку состояния работающих масел производить по вязкости, оптической плотности до и после центрифугирования, термоокислительной стабильности, определяемой при температурах, соответствующих назначению масел, в течение не менее двух часов, коэффициенту поглощения светового потока и вязкости окисленной пробы. Работоспособность масла Π_p определяют по формуле

$$\Pi_p = (K_{\text{п}_0} - K_{\text{п}_ц}) \mu_0 / \mu, \quad (1.15)$$

где $K_{\text{п}_0}$ и $K_{\text{п}_ц}$ – коэффициенты поглощения светового потока пробы окисленного и работающего масла после центрифугирования соответственно;

μ_0 и μ – соответственно вязкость окисленного и исходного работающего масла.

Измерение вязкости пробы работающего масла до и после его окисления позволяет определить влияние отработанного ресурса на ее изменение.

Физический смысл предлагаемого показателя оценки состояния работающего масла Π_p заключается в том, что он определяет его внутреннее состояние с учетом базовой основы и присутствующих в нем присадок, придающих ему необходимые свойства. Работа механизма сопровождается расходом внутренней энергии моторным маслом на сопротивление оказываемое воздействиям из вне на механическую систему, поэтому показатели вязкости и термоокислительной стабильности масла в процессе эксплуатации меняются. Чем больше израсходована внут-

решения энергия масла, тем больше изменяется вязкость и термоокислительная стабильность. Для увеличения ресурса моторных масел необходимо тщательно изучить механизм старения. Известно, что при эксплуатации двигателей масло подвергается внешним воздействиям в присутствии контактирующих с ним материалов. Многие из этих воздействий являются катализаторами химических процессов, ускоряющих старение.

Причиной старения в базовом масле являются термоокислительные процессы которые происходят в виде комплекса сложных многостадийных реакций углеводородов с кислородом (атмосферным, растворенным в жидкости) [6, 82–86].

Анализ современных направлений по разработке технологий увеличения ресурса моторных масел показал, что существующая система замены масел по пробегу и наработке часов неэффективна, так как не обеспечивает использование полного ресурса. Отсутствуют средства контроля и научно обоснованные критерии. Недостаточно исследованы механизмы старения моторных масел при эксплуатации двигателей, мало информации об эксплуатационных свойствах, температурных пределах работоспособности, сопротивляемости окислению и температурной деструкции товарных масел, что снижает обоснованность их применения в каждом конкретном двигателе различной мощности и степени форсирования.

В таблице 1.2 приведена характеристика некоторых типов пакетов присадок.

Таблица 1.2 – Характеристика пакетов присадок [1]

Показатель	СамОйл 7311 марки		СамОйл 7321	ВДС-941Н	К-47	К-48
	А	В				
Кинематическая вязкость (100°С), мм ² /с, не более	80	80	80	30	25	200
Общее щелочное число, мг КОН/г, не менее	75	55	130–170	70	200	108
Массовая доля активных элементов %, не менее:						
Калия	2,5	2,0	4,3	3,1	7,2	3,2
Цинка	1,0	1,1	1,05	0,6	2,5	2,6
Фосфора	–	–	0,95	0,6	2,2	2,3
Бора	–	–	–	–	0,013	0,013

Окончание таблицы 1.2

Показатель	СамОйл 7311 марки		СамОйл 7321	ВДС- 941Н	К-47	К-48
	Массовая доля %, не более:					
механических примесей	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1
воды	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1
сульфатной золы	15	12	20	11–15	35	30
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	180	180	185	165	170	150

Рассмотренные методы контроля ресурса предусматривают комплексный подход к решению этой проблемы. Однако среди них актуальным и практичным является применение фотометрического метода совместно с центрифугированием при определении кинематической вязкости и триботехнических характеристик как товарных, так и работающих масел.

Одним из основных направлений по увеличению ресурса моторных масел является производство качественной базовой основы и легирование качественными присадками или комплектом присадок.

Выводы по первой главе

1. Анализ основных требований к моторным маслам, методов контроля эксплуатационных свойств, термоокислительной стабильности, температурной стойкости и ресурса работоспособности показал, что существуют как стандартные методы контроля, так и множество инженерных решений. Однако широкого применения они не нашли на производственных предприятиях ввиду отсутствия промышленного выпуска средств контроля.

2. Установлено, что при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания процесс старения масел в основном зависит от температурных условий и режимов эксплуатации его технического состояния, поэтому подход к замене отработанных масел должен быть индивидуальным. От температурных условий работы двигателя зависит скорость процессов окисления, температурной деструкции и химических реакций, протекающих в основном на поверхностях трения.

3. Анализ методов контроля эксплуатационных свойств моторных масел показал необходимость комплексного подхода к решению проблем контроля состояния моторных масел в процессе эксплуатации техники и оптимизации средств измерения и испытания с целью возможности их применения на предприятиях, эксплуатирующих автомобильный транспорт и другую технику. В связи с этим предполагается применение следующих методов контроля состояния моторных масел:

- оптический метод – позволяет оценить процессы старения масел в условиях эксплуатации техники, изучать механизм окисления и температурной деструкции при испытании товарных масел в лабораторных условиях и расширить информацию об их сопротивлении температурным воздействиям, что обеспечит обоснованный выбор для техники различной степени нагруженности;

- определение кинематической вязкости товарных и работающих масел – позволяет оценить влияние продуктов старения и определить сроки замены масел при достижении предельной величины вязкости;

- центрифугирование работающих масел – позволяет определить состав продуктов старения по растворимости и нерастворимости, а так же оценить диспергирующие свойства по плотности осадка;

- триботехнические испытания – позволяют определить изменение противозносных свойств работающих масел, влияние концентрации продуктов старения на эти свойства, а также влияние кислотности работающих масел на электропроводность фрикционного контакта; обосновать предельную величину концентрации продуктов старения, вызывающую максимальный износ.

В области увеличения ресурса моторных масел наряду с индивидуальным контролем доливов необходим поиск новых технологий повышения качества товарных масел и присадок к ним.

Методы контроля температурной стойкости моторных масел требуют разработки и обоснования новых критериев оценки, дающих возможность ее повышать.

2 РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

2.1 Обоснование выбора смазочных масел для исследования

В настоящее время конструирование деталей машин, механизмов и агрегатов активно развивающаяся отрасль науки, но вопросы правильного выбора смазочных масел остаются малоизученными. Защита трущихся поверхностей от износа, снижение температуры в зоне контакта и потерь на трение, унос с поверхностей трения частиц износа, образование на трущихся поверхностях граничных защитных хемосорбционных, адсорбционных и модифицированных слоев, повышение сопротивления поверхностей схватывания являются основными факторами, от которых эффективный выбор смазочных масел, что впоследствии определяет долговечность и надежность деталей машин.

Эффективность смазочных масел зависит от показателей, которым присущи меняться при индивидуальном процессе эксплуатации, состояния поверхностей трения и покрытия их оксидными пленками, взаимодействия составляющих масла между собой. Известно, что моторное масло способно обеспечивать необходимый ресурс только при точном соответствии его свойств относительно конструкции агрегата и режиму эксплуатации трибосистемы [87, 88].

Для исследования подобраны самые распространённые минеральные, частично-синтетические и синтетические масла, которые поддерживают долговечность и надёжность двигателей внутреннего сгорания.

Таким образом, решаемая проблема повышения эксплуатационных свойств смазочных масел за счет их предварительного термостатирования является актуальной задачей.

Краткая характеристика масел, выбранных для исследования, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные характеристики выбранных для исследования моторных масел

Показатель	Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC	Лукойл Супер 10W-40 SF/CC	Mobil Super 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF
Плотность при 15°C, г/см ³	0,878	0,878	0,855
Вязкость при 40°C, мм/с	91,4	88,3	83,51
Вязкость при 100°C, мм/с	13,9	13,9	13,76
Индекс вязкости	159	158	169
Температура вспышки, °C	224	224	232
Температура застывания, °C	-33	-36	-44
Щелочное число, мг КОН/г	6,7	8,4	10,01
Зольность, %	1,0	1,1	1,1

2.2 Конструктивные особенности средств контроля

Для количественной оценки влияния предварительного термостатирования на эксплуатационные свойства моторных масел использовались следующие средства контроля: прибор для определения температурной стойкости, прибор для определения термоокислительной стабильности, прибор для фотометрирования, малообъемный вискозиметр, центрифуга и электронные весы.

2.2.1 Прибор для испытания на температурную стойкость

Прибор предназначен для определения температурной стойкости смазочных масел и предусматривает нагревание испытуемого масла в объеме с отсутствием доступа воздуха, атмосферном давлении с устройством конденсацией паров и отводом конденсата (рисунки 2.1 и 2.2).

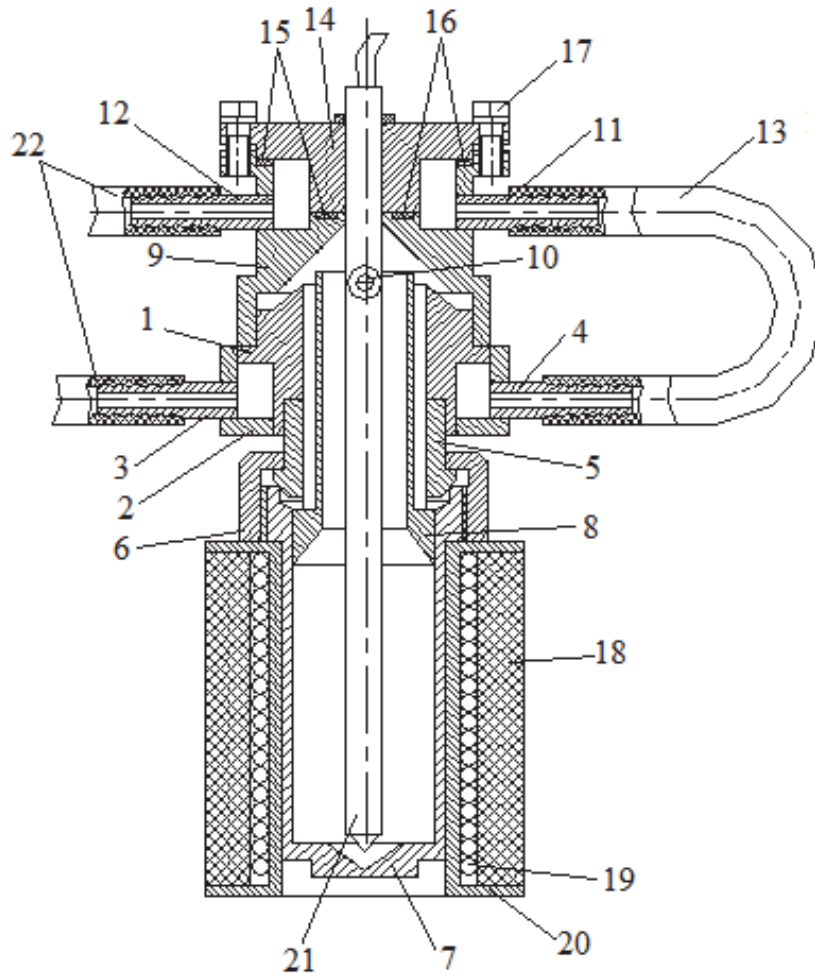


Рисунок 2.1 – Прибор для испытания на температурную стойкость смазочных материалов: 1 – корпус; 2 – втулка; 3 – входной штуцер; 4 – выходной штуцер; 5 – ниппель; 6 – накидная гайка; 7 – стакан; 8 – диффузор; 9 – холодильник; 10 – патрубок сливной; 11 – входной штуцер; 12 – выходной штуцер; 13 – шланг; 14 – крышка; 15, 16 – уплотнители; 17 – болты; 18 – теплоизоляция; 19 – нагревательный элемент; 20 – корпус; 21 – керамическая трубка; 22 – шланги

Достоверность показаний прибора для испытания на температурную стойкость (коэффициента поглощения светового потока, кинематической вязкости, коэффициента температурной стойкости, испаряемости) оценивались сопоставимостью с результатами пятикратного испытания одного вида моторного масла, абсолютной и относительной погрешностей. Для отображения результатов исследования использовались программы ЭВМ Advanced Grapher и MS Excel.

Техническая характеристика прибора отображена в таблице 2.2.



Рисунок 2.2 – Общий вид прибора для испытания на температурную стойкость смазочных материалов

Таблица 2.2 – Техническая характеристика прибора для определения температурной стойкости смазочных материалов

Параметр	Ед. измерения	Значение
Напряжение питания	В	$\approx 220 \pm 10 \%$
Потребляемая мощность	ВА	500 ± 50
Температурный диапазон испытания	$^{\circ}\text{C}$	от 100 до 300
Объем испытуемого масла	г	$50 \pm 0,1$
Время испытания	ч	8
Хладагент	–	Вода
Расход хладагента	л/мин	$0,5 \pm 0,1$
Датчик температуры	–	хромель-капель
Габариты:		
механического блока		
высота		$228 \pm 2,0$
диаметр		$90 \pm 1,0$
измерительного блока	мм	
высота		$150 \pm 5,0$
ширина		$370 \pm 5,0$
длина		$300 \pm 5,0$
Масса (общая)	кг	$8,5 \pm 0,1$

2.2.2 Прибор для определения термоокислительной стабильности

Прибор [89, 90] служит для определения термоокислительной стабильности масел различной базовой основы (рисунок 2.3). При испытании на термоокислительную стабильность изменяются оптические свойства, показатель вязкости, испаряемость. Термоокислительная стабильность характеризуется склонностью моторного масла к окислению и образованию продуктов окисления. Температура исследуемого масла фиксируется отображением цифровых данных на индикаторе, а требуемая температура задается дискретной и в процессе исследования удерживается автоматически с точностью ± 1 °С. Напряжение питания на нагревательный элемент подается через штепсельный разъем от измерительного блока. Установка частоты вращения мешалки производится дискретно, регистрируется отображением цифровых данных на индикаторе и в процессе испытания поддерживается автоматически с точностью ± 10 об/мин. Оценка текущих параметров производится после каждого испытания. Для определения испаряемости проба масла взвешивается, измеряется вязкость масла на малообъемном вискозиметре и исследуется на фотометрическом устройстве, для определения оптических свойств масла.

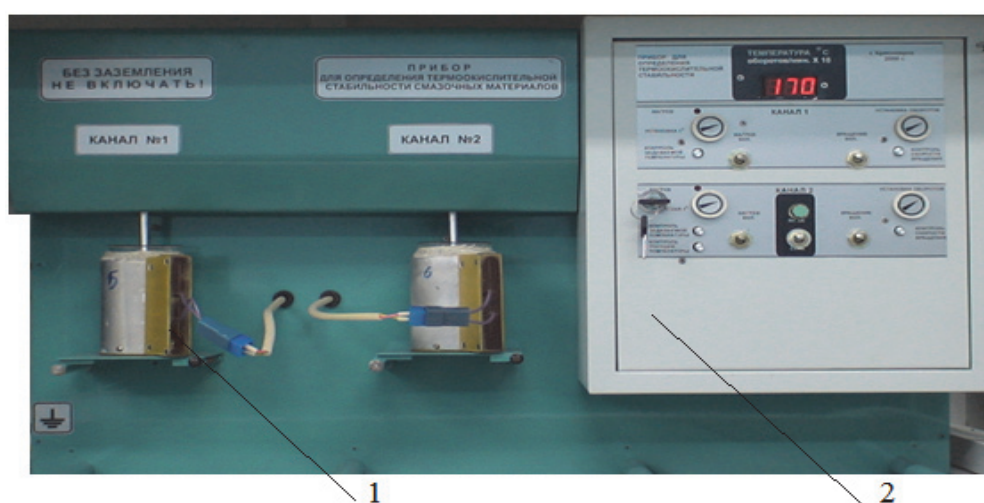


Рисунок 2.3 – Общий вид прибора для определения термоокислительной стабильности смазочных материалов: 1 – механический блок; 2– блок измерения и управления

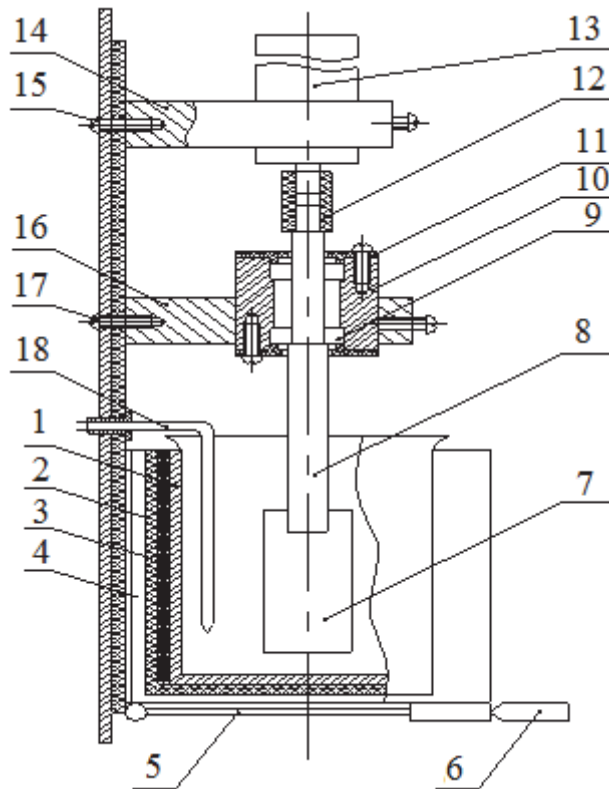


Рисунок 2.4 – Механический блок прибора для определения термоокислительной стабильности смазочных материалов: 1 – стакан для испытуемого масла; 2 – нагреватель; 3 – теплоизоляция; 4 – кожух; 5 – платформа; 6 – фиксатор платформы; 7 – мешалка; 8 – вал; 9 – подшипник; 10 – узел подшипниковый; 11 – крышка; 12 – муфта; 13 – микроэлектродвигатель; 14, 16 – кронштейн; 15, 17 – винт; 18 – термопара

Прибор для определения термоокислительной стабильности представлен в разрезе на рисунке 2.4.

В таблице 2.3 отображена техническая характеристика прибора для определения термоокислительной стабильности.

Таблица 2.3 – Техническая характеристика прибора для определения термоокислительной стабильности смазочных материалов

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	$12 \pm 0,5$
Максимальная мощность нагревателя, Вт	$42 \pm 1,0$
Погрешность измерения, %	$\pm 0,2$

Окончание таблицы 2.3

Параметр	Значение
Объем испытуемого масла (РЖ), мл	8,5 ±0,1
Температура измерения вязкости, °С, масел: моторных и трансмиссионных гидравлических и промышленных	100 ±0,1 50 ±0,1
Время одного измерения, мин	5 ±1
Габариты прибора, мм	100×160×260 ±2
Масса прибора, кг	3,0 ±0,1

2.2.3 Фотометрическое устройство

Прибор предназначен для исследования оптических свойств термостатированных масел по коэффициенту поглощения светового потока [91]. Внешний вид отображен на рисунке 2.5, техническая характеристика фотометрического устройства представлена в таблице 2.4.



Рисунок 2.5 – Фотометрическое устройство

Функционирование прибора основано на пропускании светового монохроматического стабилизированного потока через наносимый слой исследуемого масла на фотоприемник.

Падение различных световых потоков на фотоприемник зависит от концентрации механических примесей. Таким образом, при большем количестве примесей, показания прибора показывают малые значения. Каждому сорту масла и типу

двигателя соответствуют браковочные показатели по механическим примесям, которые устанавливаются экспериментально [92–95].

Уровень окисления (старения) масла характеризуется коэффициентом поглощения светового потока $K_{\text{п}}$, определяемым по формуле

$$K_{\text{п}} = (300 - \text{П}) / 300, \quad (2.1)$$

где 300 – значение, выдающее фотометрическим устройством при отсутствии масла в кювете, мкА;

П – показания (фототок) при наличии масла в кювете, мкА.

Таблица 2.4 – Техническая характеристика фотометрического устройства

Параметр	Значение
Диапазон измерения, мкА	0–300
Фотоэлемент	Сф 2-1А
Погрешность измерения, %	±2,0
Время одного измерения с учетом вспомогательного, мин	3,0 ±0,1
Время непосредственного измерения, с	5,0 ±1
Толщина фотометрируемого слоя при фотометрировании моторных масел, мм:	
дизельных двигателей	0,03
бензиновых двигателей	0,15
трансмиссионных масел	2,0
гидравлических и промышленных масел	8,0
Напряжение питания, В	9
Потребляемая мощность, ВА	0,2 ±0,01
Время нагрева прибора для нормальной работы, мин	3,0 ±0,5
Габариты, мм	105×225×40

2.2.4 Прибор для определения вязкости

Прибор предназначен для определения вязкости при малом объеме пробы исследуемого материала при температурах 50 и 100 °С. Вид прибора представлен на рисунке 2.6. Состоит из двух блоков: механического включающего нагреваю-

щее устройство и электронного производимого измерение и отображение на дисплее значения вязкости. Техническая характеристика прибора отображена в таблице 2.5.



Рисунок 2.6 – Прибор для определения вязкости

Таблица 2.5 – Техническая характеристика прибора для определения вязкости

Параметр	Ед. измерения	Значение параметра
Напряжение питания	В	12 ±0,5
Максимальная мощность нагревателя	Вт	42 ±1,0
Погрешность измерения	%	±2
Объем испытуемого масла	мл	8,5±0,1
Температура измерения вязкости масел: моторных и трансмиссионных гидравлических и промышленных	°С	100 50
Время одного измерения	мин	5 ±1
Габариты прибора	мм	100·160·260 ±2
Масса прибора	кг	3,0 ±0,1

Прибор работает следующим образом: измеряется время погружения плоского диска в испытуемый материал при установленной температуре на заданную глубину. За 1 °С до заданной температуры (50 °С) происходит отключение нагре-

вательного элемента и приведение направляющей с диском в движение для перемешивания исследуемого материала, это происходит до достижения ближайшего установленного значения температуры (50 °С), после чего электрическая система обесточивается, диск на направляющей поднимается в верхнее положение и под собственным весом устремляется вниз. Время его опускания зависит от вязкости жидкости [93, 94].

Показания вязкости определяется по формуле

$$\eta = \frac{(I - K)}{C}, \quad (2.2)$$

где η – вязкость исследуемой жидкости, сСт;

I – время опускания измерительного диска;

K и C – константы, зависящие от конструктивных особенностей прибора (диаметр диска, глубина погружения диска, диаметр пробирки), которые устанавливаются экспериментально.

2.2.5 Установка для исследования трущихся материалов

Установка [96] предназначена для исследования противоизносных свойств трущихся материалов и масел. Данная установка с необходимым оборудованием для снятия показаний представлена на (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Установка для исследования трущихся материалов

Техническая характеристика установки представлена в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Техническая характеристика установки

Параметр	Ед. измерения	Значение параметра
Тип пары трения	–	шар – цилиндр
Диаметр шарика	мм	9,5
Диаметр цилиндра	мм	80
Скорость вращения цилиндра	м/с	0,68
Нагрузка на шарики	Н	0-40
Ток фрикционного контакта	мкА	0-100
Объем пробы масла	мл	20
Температура масла	°С	0-100
Габариты прибора	мм	500×460×400
Масса прибора	кг	72

В качестве вспомогательных устройств использовался оптический микроскоп «Альтами МЕТ 1М» для измерения размера диаметров пятен износа.

2.3 Метод контроля температурной стойкости моторных масел

Для исследования температурной стойкости моторных масел применялись следующие средства контроля и испытания: прибор для испытания на температурную стойкость; прибор для определения вязкости; фотометрическое устройство; электронные весы; устройство для испытания трущихся материалов; оптический микроскоп. Метод контроля предусматривал два этапа исследования. На первом этапе проба масла постоянной массы ($100 \pm 0,1$ г) термостатировалась в течение 8 ч в температурном диапазоне от 160 до 300 °С с интервалом 20 °С изолированных от попадания воздуха при давлении равном атмосферному с концентрацией паров и отводом конденсата. При каждой температуре исследовалась

новая проба товарного масла. После каждой температуры испытания определялись коэффициенты поглощения светового потока, кинематическая вязкость при 100 °С, масса испарившегося масла после термостатирования, противоизносные свойства и показатель температурной стойкости.

Термостатированные масла при каждой температуре использовались для определения их термоокислительной стабильности.

Определения коэффициента поглощения светового потока K_{Π} оценивалось по формуле

$$K_{\Pi} = (300 - \Pi) / 300, \quad (2.3)$$

где 300 – значение, выдающее фотометрическим устройством при отсутствии масла в кювете, мкА;

Π – показания (фототок) при наличии масла в кювете, мкА.

Показатель температурной стойкости $E_{\text{Тос}}$ определяется суммой коэффициентов показания фотометрического устройства K_{Π} и испаряемости K_g :

$$E_{\text{Тос}} = K_{\Pi} + K_g, \quad (2.4)$$

$$K_g = m / \mu, \quad (2.5)$$

где m – масса испарившегося масла при термостатировании за время t , ч;

μ – масса пробы масла до испытания, г.

Второй этап исследования предусматривал после каждой температуры термостатирования пробу масла взвешивать и вычислять количество испарившегося масла, отбирать пробы для исследования на фотометрическом устройстве для определения коэффициента оптических показаний, измерение вязкости при 100 °С и дополнительно отбирать пробу для испытания на установке для исследования трущихся материалов, и определения противоизносных свойств. По полученным показателям температурной стойкости проводилась оценка воздействия образующихся продуктов в исследуемом масле под влиянием температуры на противоизносные свойства и на показатели температурной стойкости.

2.4 Метод контроля влияния предварительного термостатирования на показатели термоокислительной стабильности

Метод предназначен для определения влияния предварительного термостатирования исследуемых масел на процессы окисления и триботехнические характеристики. Перед исследованиями термоокислительной стабильности термостатированных масел в диапазоне температур от 160 до 300 °С проводились испытания товарного масла по коэффициенту поглощения светового потока, кинематической вязкости, испаряемости, коэффициенту термоокислительной стабильности $E_{\text{тос}}$ при температуре 180 °С.

Термоокислительная стабильность предварительно термостатированных масел оценивались с помощью следующих средств контроля и испытания: прибора для определения термоокислительной стабильности, прибора для определения вязкости, фотометрического устройства, электронных весов, установки для исследования трущихся материалов, оптического микроскопа «Альтами МЕТ 1».

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе проба предварительно термостатированного масла установленной массой $100 \pm 0,1$ г подвергалась испытаниям на приборе для определения термоокислительной стабильности с экспериментально выбранной частотой вращения 300 об/мин. Время проведения испытания составило 8 часов при автоматически поддерживаемой температуре 180 °С. Испытания проводили до достижения критических показателей коэффициента поглощения светового потока, равных 0,7–0,8. Спустя каждые 8 часов испытания проба окисленного масла взвешивалась, определяли летучесть масла, отбиралась часть пробы для исследования на фотометрическом устройстве далее по показаниям прибора и формуле (2.3) вычислялся коэффициент поглощения светового потока, другая же часть пробы отбиралась для определения вязкости при 100 °С. По полученным данным определяли показатель термоокислительной стабильности $E_{\text{тос}}$:

$$E_{\text{тос}} = K_{\text{п}} + K_{\text{г}}. \quad (2.6)$$

Данные исследования позволили оценить влияние продуктов температурной деструкции на процессы окисления, изменение вязкости, испаряемости.

Второй этап исследования заключался в определении противоизносных свойств окисленных предварительно термостатированных масел. Исследования проводили по вышеописанной технологии с отбором пробы (20 г) окисленного масла согласно показаниям коэффициента поглощения светового потока значений равных 0,1; 0,2–0,7 для испытания на трехшариковой машине трения и прямого фотометрирования для определения коэффициента поглощения светового потока, а пробу масла в стеклянном стакане доливалась термостатированным маслом до массы $100 \pm 0,1$ г.

По полученным данным первого и второго этапов испытания термостатированных масел в диапазоне температур от 160 до 300 °С строили графические зависимости, по которым определяли воздействие образующихся продуктов при предварительном термостатировании на процессы окисления, кинематическую вязкость, испаряемость, коэффициент термоокислительной стабильности и противоизносные свойства, и производили поиск критериев оценки влияния продуктов температурной деструкции на показатели термоокислительной стабильности и противоизносные свойства предварительно термостатированных масел.

Блок-схема метода контроля показателей температурной стойкости термоокислительной стабильности и триботехнических характеристик моторных масел представлена на рисунке 2.8.

Согласно представленной схемы комплексная методика исследования моторных масел включает три этапа. На первом этапе осуществляется контроль товарного масла и коэффициента поглощения светового потока, кинематической вязкости и триботехнической характеристики. На втором этапе проводят исследования по определению температурной стойкости исследуемого моторного масла, оцениваемой по коэффициенту поглощения светового потока, кинематической вязкости, испаряемости и триботехническим характеристикам. Испытания проводят в температурном интервале от 160 до 300 °С.

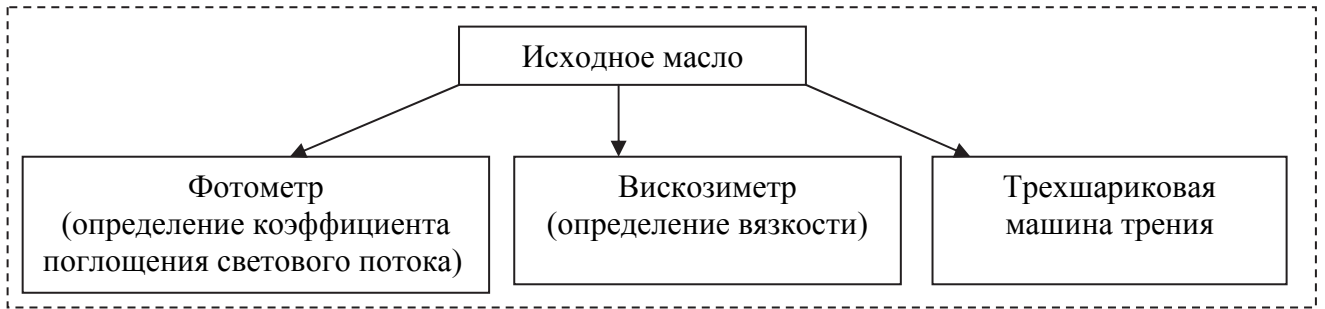
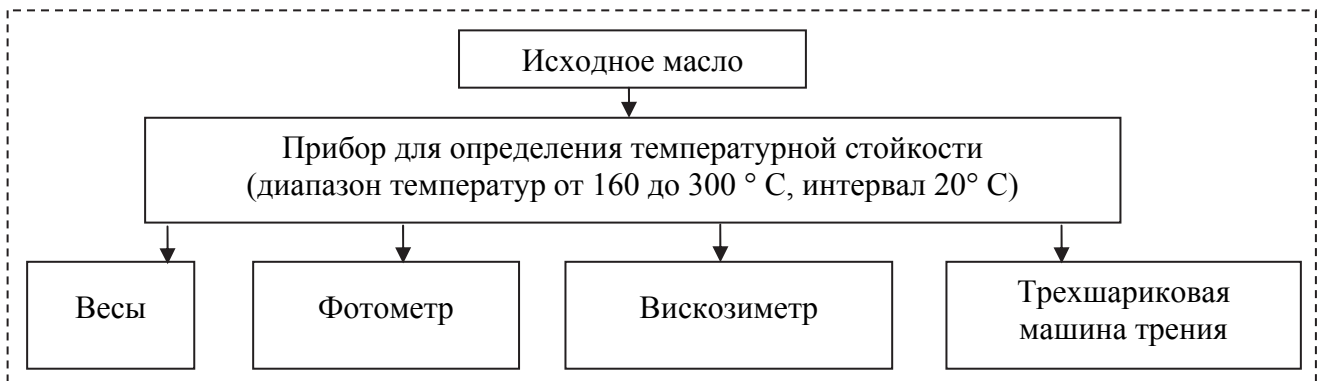
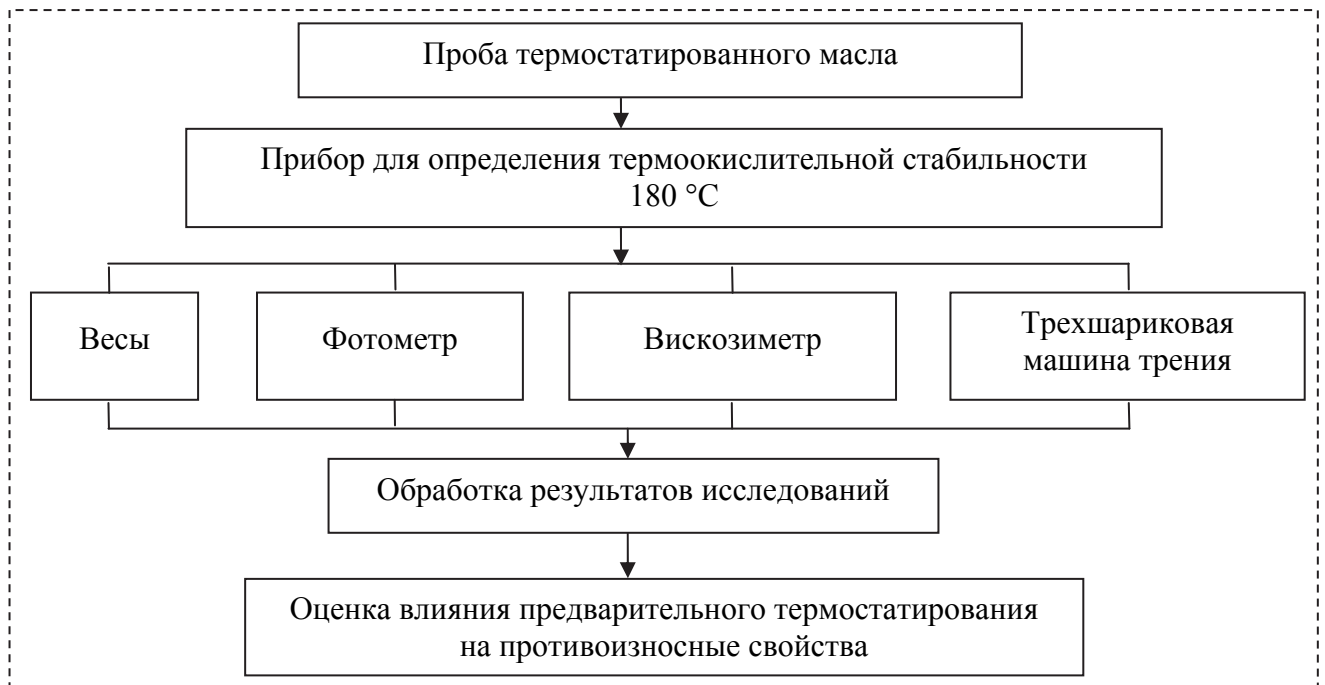
I этап**II этап****III этап**

Рисунок 2.8 – Блок-схема метода контроля показателей температурной стойкости, термоокислительной стабильности и триботехнических характеристик моторных масел

Третий этап исследования предусматривает испытания на термоокислительную стабильность предварительно термостатированных масел, что позволяет оценить влияние образующихся продуктов при предварительных испытаниях на температурную стойкость относительно процессов окисления и триботехнических характеристик окисленных предварительно термостатированных масел в температурном интервале от 160 до 300 °С. Термоокислительная стабильность предварительно термостатированных масел оценивалась по коэффициенту поглощения светового потока, кинематической вязкости, испаряемости и триботехническим характеристикам.

2.5 Методика исследования триботехнических характеристик термостатированных и окисленных моторных масел

Разработанная методика является общей для исследования триботехнических характеристик товарных, термостатированных в диапазоне температур от 160 до 300 °С и окисленных предварительно термостатированных масел. Для исследования применялась установка для исследования трущихся материалов со схемой «шар – цилиндр» [96].

Отличительная особенность установки от своих предшественников заключается в контакте трех шаров с поверхностью цилиндра, трение происходит по индивидуальным дорожкам, исследовать влияние продуктов температурной деструкции и окисления на образование тонких защитных масляных пленок на поверхностях трения достигается пропусканием через центральный шар постоянного тока величиной равной 100 мкА от конвертирующего источника напряжения до 3В. Ток считывается блоком регистрации, преобразуется и по значениям тока строится диаграмма (рисунок 2.9). Описание конструкции установки представлено в п. 2.2.5.

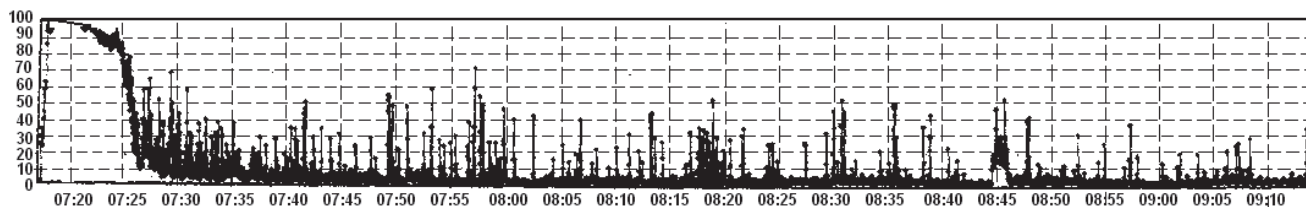


Рисунок 2.9 – Диаграмма тока

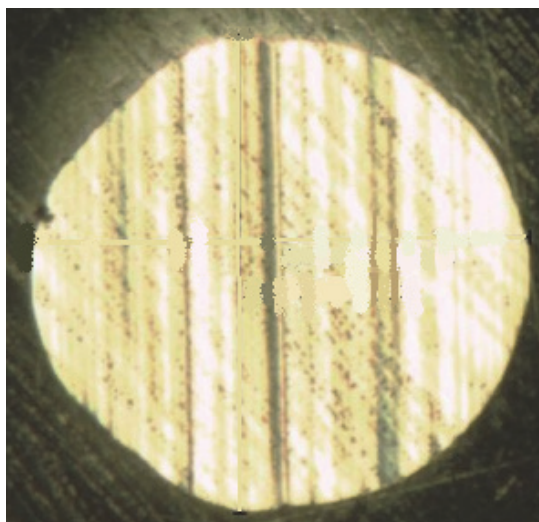


Рисунок 2.10 – Пятно износа

Замер диаметра пятна износа образующего на котробразцах после каждого исследования производят с помощью оптического микроскопа «Альтами МЕТ 1М» (рисунок 2.10) и определяют параметр оценки противоизносных свойств, вычисляя среднее значение диаметра пятна износа на трех шарах.

2.6 Методика обработки экспериментальных данных

Согласно разработанной методики проводили анализ и обработку полученных результатов эксперимента. Достоверность вычисленных результатов достигается неоднократным проведением исследований [99]. Результаты и выводы описаны в главе 3 диссертационной работы.

Величина случайной ошибки результата измерения при пятикратном исследовании определяли по формуле

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}, \quad (2.7)$$

где n – число наблюдений;

\bar{x} – среднее арифметическое значение показателя;

x_i – результаты наблюдений.

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

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.8)$$

Значение абсолютной погрешности прибора получали как разность между средним арифметическим значением каждого из показателей и значением, полученным при отдельном наблюдении:

$$\Delta x_i = |\bar{x} - x_{\text{от.набл}}|, \quad (2.9)$$

Относительную погрешность получали как отношение средней квадратичной ошибки к среднему арифметическому значению показателей

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{\bar{x}} 100 \%. \quad (2.10)$$

Для характеристики величины случайной ошибки необходимо установить доверительный интервал и величину доверительной вероятности, что позволит определить уровень надежности полученного результата. Для измерений приняли доверительную вероятность $\alpha = 0,95$, которой соответствует доверительный интервал в долях $\omega = 2,0$. В связи с этим для измерения всех показателей наблюдения при необходимой температуре испытания доверительный интервал $\Delta\tau_{\bar{x}}$ находили по формуле

$$\Delta\tau_{\bar{x}} = S_n \omega. \quad (2.11)$$

В таблице 2.7 представлены результаты испытаний после статистической обработки.

Таблица 2.7 – Результаты испытания минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC после статистической обработки

Показатель	Коэффициент поглощения светового потока K_{Π}							
	160	180	200	220	240	260	280	300
Температура испытания, °C	160	180	200	220	240	260	280	300
Опыт № 1	0,04	0,04	0,06	0,067	0,067	0,077	0,079	0,068
Опыт № 2	0,038	0,04	0,057	0,057	0,06	0,06	0,07	0,057
Опыт № 3	0,036	0,035	0,049	0,062	0,067	0,07	0,073	0,067
Опыт № 4	0,034	0,033	0,05	0,057	0,063	0,073	0,08	0,073
Среднее значение K_{Π} , \bar{x}	0,039	0,037	0,054	0,061	0,065	0,071	0,077	0,067
Средняя квадратичная погрешность, S_n	0,0024	0,0028	0,0054	0,0048	0,0034	0,0047	0,0048	0,0067
Средняя относительная погрешность, %	8	8	8	6	4	5	5	7
Доверительный интервал $\Delta\tau_{\bar{x}}$	$\pm 0,006$	$\pm 0,006$	$\pm 0,011$	$\pm 0,01$	$\pm 0,007$	$\pm 0,009$	$\pm 0,01$	$\pm 0,013$
Уравнение регрессии	$K_{\Pi} = -7,596 \cdot 10^{-14} \cdot T^6 + 8,348 \cdot 10^{-11} \cdot T^5 - 3,573 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 + 7,315 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 - 6,774 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,015 \cdot T + 0,926$							
Коэффициент корреляции	0,9997							
Среднее квадратическое отклонение	0,0024							
Средняя погрешность аппроксимации, %	5,38							
	Коэффициент относительной вязкости K_{μ}							
Температура испытания, °C	160	180	200	220	240	260	280	300
Опыт № 1	1,032	1,047	1,021	1,017	1,026	1,017	1	1,013
Опыт № 2	1,001	1	1	1,004	0,979	0,974	0,979	0,979
Опыт № 3	0,985	0,983	0,983	0,974	0,979	1,021	1,021	0,996
Опыт № 4	1,011	1,017	1,064	1,047	1,043	1,043	1,034	1,043
Среднее значение K_{μ} , \bar{x}	1,013	1,012	1,017	1,011	1,007	1,014	1,009	1,008

Окончание таблицы 2.7

Показатель	Коэффициент поглощения светового потока K_{μ}							
	0,0258	0,0273	0,035	0,0303	0,0328	0,0289	0,0242	0,0273
Средняя квадратичная погрешность, S_n	0,0258	0,0273	0,035	0,0303	0,0328	0,0289	0,0242	0,0273
Средняя относительная погрешность, %	3	3	3	3	3	3	2	3
Доверительный интервал $\Delta\tau_{\bar{x}}$	$\pm 0,039$	$\pm 0,055$	$\pm 0,07$	$\pm 0,061$	$\pm 0,066$	$\pm 0,058$	$\pm 0,048$	$\pm 0,055$
Уравнение регрессии	$K_{\mu} = -5,789 \cdot 10^{-11} \cdot T^5 + 6,756 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 - 3,112 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 + 0,007 \cdot T^2 - 0,790 \cdot T + 35,772$							
Коэффициент корреляции	0,9974							
Среднее квадратическое отклонение	0,023							
Средняя погрешность аппроксимации	0,4							
	Летучесть G							
Температура испытания, °С	160	180	200	220	240	260	280	300
Опыт № 1	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8
Опыт № 2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8
Опыт № 3	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Опыт № 4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1
Среднее значение G , \bar{x}	0,55	0,4	0,55	0,6	0,625	0,675	0,775	0,9
Средняя квадратичная погрешность, S_n	0,09	0,0816	0,1	0,0816	0,05	0,0957	0,0957	0,1414
Средняя относительная погрешность, %	11	13	14	8	6	11	10	11
Доверительный интервал $\Delta\tau_{\bar{x}}$	$\pm 0,186$	$\pm 0,163$	$\pm 0,2$	$\pm 0,163$	$\pm 0,1$	$\pm 0,191$	$\pm 0,191$	$\pm 0,283$
Уравнение регрессии	$G = 1,002 \cdot 10^{-11} \cdot T^5 - 1,584 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 + 8,401 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 - 0,002 \cdot T^2 + 0,201 \cdot T - 6,940$							
Коэффициент корреляции	0,9878							
Среднее квадратическое отклонение	0,304							
Средняя погрешность аппроксимации	1,8							

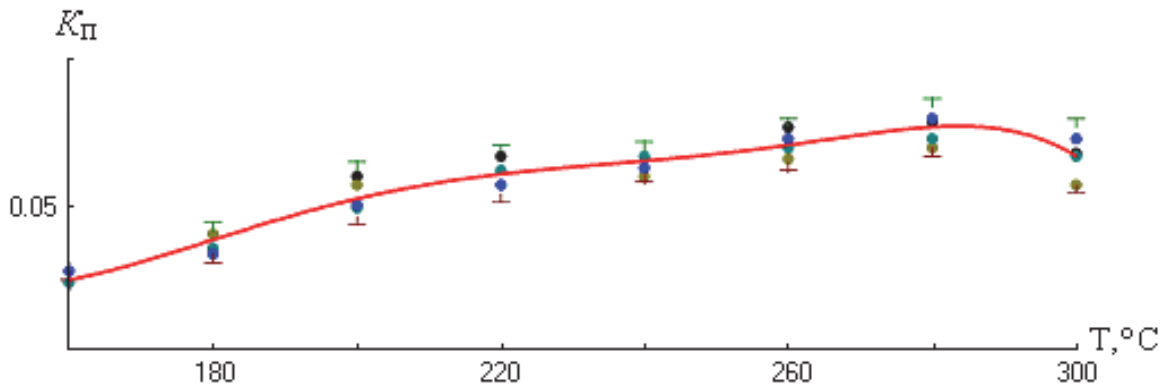


Рисунок 2.11 – Зависимость коэффициента поглощения светового потока $K_{\text{П}}$ от температуры испытания минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC

Рисунок 2.11 отображает результат статистической обработки при пяти наблюдениях с указанием доверительного интервала.

Выводы по второй главе

1. Разработан метод контроля влияния предварительного термостатирования на эксплуатационные свойства моторных масел. Метод позволяет обосновать повышение эксплуатационных свойств за счет предварительного термостатирования.

2. По вычисленным погрешностям измерительных приборов, выбрана методика пятикратного проведения испытаний над одним маслом, что обеспечило неопровержимую сопоставимость полученных результатов эксперимента.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

3.1 Испытание минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC

На рисунке 3.1 отображены зависимости изменения оптических свойств, оцениваемых коэффициентом поглощения светового потока K_{Π} , от температуры и времени окисления товарного и термостатированных масел в диапазоне температур от 160 до 300 °С.

Графики зависимостей имеют изгиб, указывающий на наличие двух видов продуктов окисления с различными оптическими характеристиками. Оба участка зависимостей описываются линейными уравнениями вида

$$K_{\Pi} = a_k t + b_k, \quad (3.1)$$

где a_k – скорость образования продуктов окисления, предварительно термостатированных масел, ч^{-1} ;

b_k – начальное значение коэффициента поглощения светового потока K_{Π} предварительно термостатированного масла.

Увеличение скорости изменения коэффициента K_{Π} во второй области вызвано образованием продуктов окисления с более высоким показателем оптической плотности, т. е. образуются первичные и вторичные продукты. Причем начало образования вторичных продуктов определяется продолжением второго участка зависимости до пересечения с осью абсцисс. Это подтверждается наличием гелеобразного осадка после центрифугирования окисленных масел, объем которого зависит от температуры испытания [100, 101], а также результатами ИК-спектроскопии. Значение коэффициента поглощения светового потока $K_{\Pi} = 0,8$ ед.

принято в качестве предельного. Данное значение отмечено на рисунке 3.1 горизонтальной штриховой линией.

Установлено, что предварительное термостатирование при выбранном температурном диапазоне термостатирования масел не привело к улучшению оптических свойств.

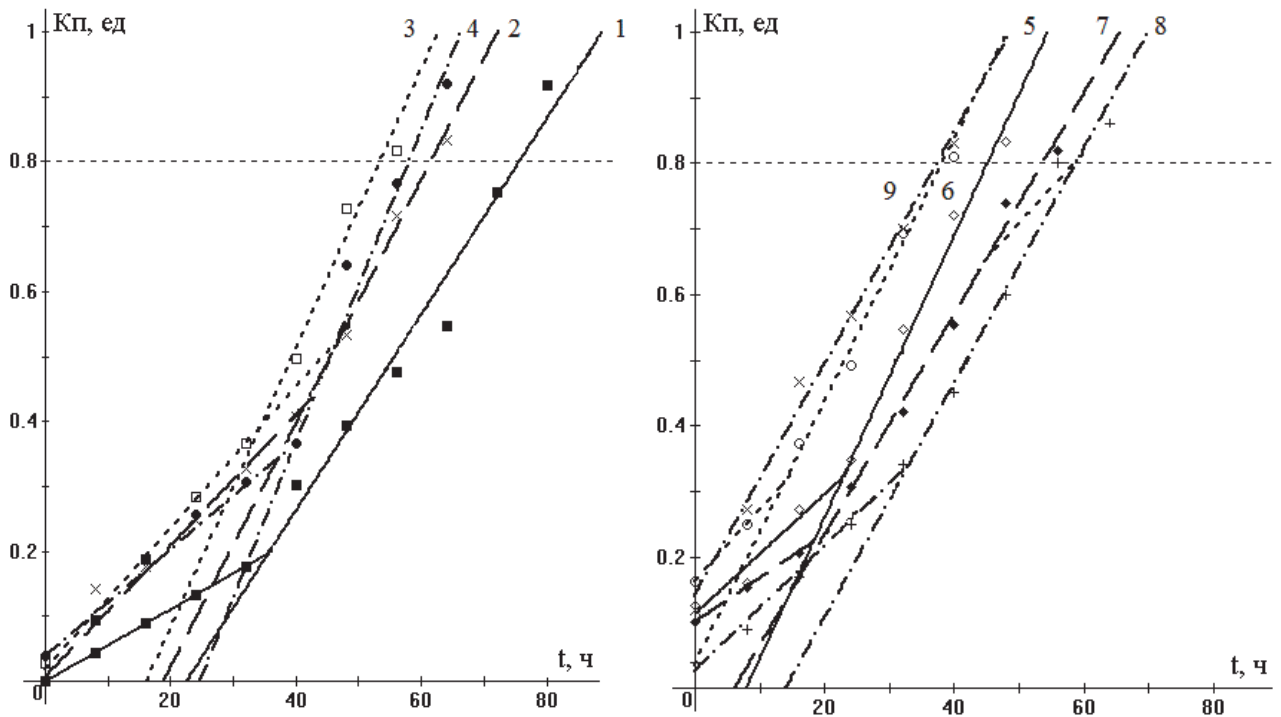


Рисунок 3.1 – Зависимости коэффициента поглощения светового потока от времени окисления товарного (1) и термостатированных (2–9) минеральных моторных масел Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С; 8 – 280 °С; 9 – 300 °С

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9911 до 0,9999.

Согласно проведенному регрессионному анализу, представленному в таблице 3.1, установлено, что у масел, термостатированных при температуре 180 °С и выше, в зоне первичных продуктов деструкции появляется параметр b_k , который характеризует начальную концентрацию продуктов деструкции, полученную при термостатировании масла. Наибольшая скорость образования первичных продуктов 0,0109 ед/ч установлена для пробы масла, термостатированного при 180 и 260 °С, наименьшая скорость – 0,0067 ед/ч установлена для пробы

масла, термостатированного при температуре 240 °С. Наибольшая скорость образования вторичных продуктов деструкции 0,0240 ед/ч установлена для пробы масла, термостатированного при 200 °С, а наименьшая – 0,0168 ед/ч для пробы масла, термостатированного при 240 °С. Из всех кривых примечательна кривая, соответствующая пробе масла, термостатированного при 300 °С. Здесь с начала проведения опыта образовались вторичные продукты, о чем свидетельствует скорость их образования – 0,0176 ед/ч и наличие гелеобразного осадка при центрифугировании.

Таблица 3.1 – Регрессионные уравнения всех кривых (рисунок 3.1)

Параметр	Первый участок	Второй участок
Без термостатирования	$K_n = 0,0056 t$	$K_n = 0,0151 t - 0,3393$
160 °С	$K_n = 0,0101 t$	$K_n = 0,0188 t - 0,3557$
180 °С	$K_n = 0,0109 t + 0,0174$	$K_n = 0,0215 t - 0,3500$
200 °С	$K_n = 0,0082 t + 0,0375$	$K_n = 0,0240 t - 0,5950$
220 °С	$K_n = 0,0091 t + 0,1137$	$K_n = 0,0215 t - 0,1700$
240 °С	$K_n = 0,0067 t + 0,0998$	$K_n = 0,0168 t - 0,1050$
260 °С	$K_n = 0,0109 t + 0,163$	$K_n = 0,0200 t - 0,035$
280 °С	$K_n = 0,0095 t + 0,026$	$K_n = 0,0179 t - 0,2520$
300 °С	$K_n = 0,0176 t - 0,1406$	

Испаряемость моторного масла (рисунок 3.2) является эксплуатационным показателем, поскольку косвенно характеризует температурную область работоспособности исследуемого масла и его экологические свойства: поэтому чем ниже интенсивность изменения зависимости испаряемости от времени окисления, тем медленнее протекают процессы окисления термостатированных масел. Установлено, что масло, термостатированное при 300 °С (9 на рисунке 3.2), имеет самую низкую испаряемость за 40 ч испытания – 5,4 г, а масло, термостатированное при 180 °С (3 на рисунке 3.2), имеет самую высокую испаряемость за 40 ч испытания – 8,8 г. В целом процесс испарения масел при окислении описывается поли-

номом второго порядка для всех проб при различных температурах предварительного термостатирования:

$$G = a_g t^2 + b_g t + c_g, \quad (3.2)$$

где a_g – интенсивность изменения испаряемости от времени окисления, г/ч²;

b_g – скорость испарения, г/ч;

c_g – начальная концентрация легких фракций в масле.

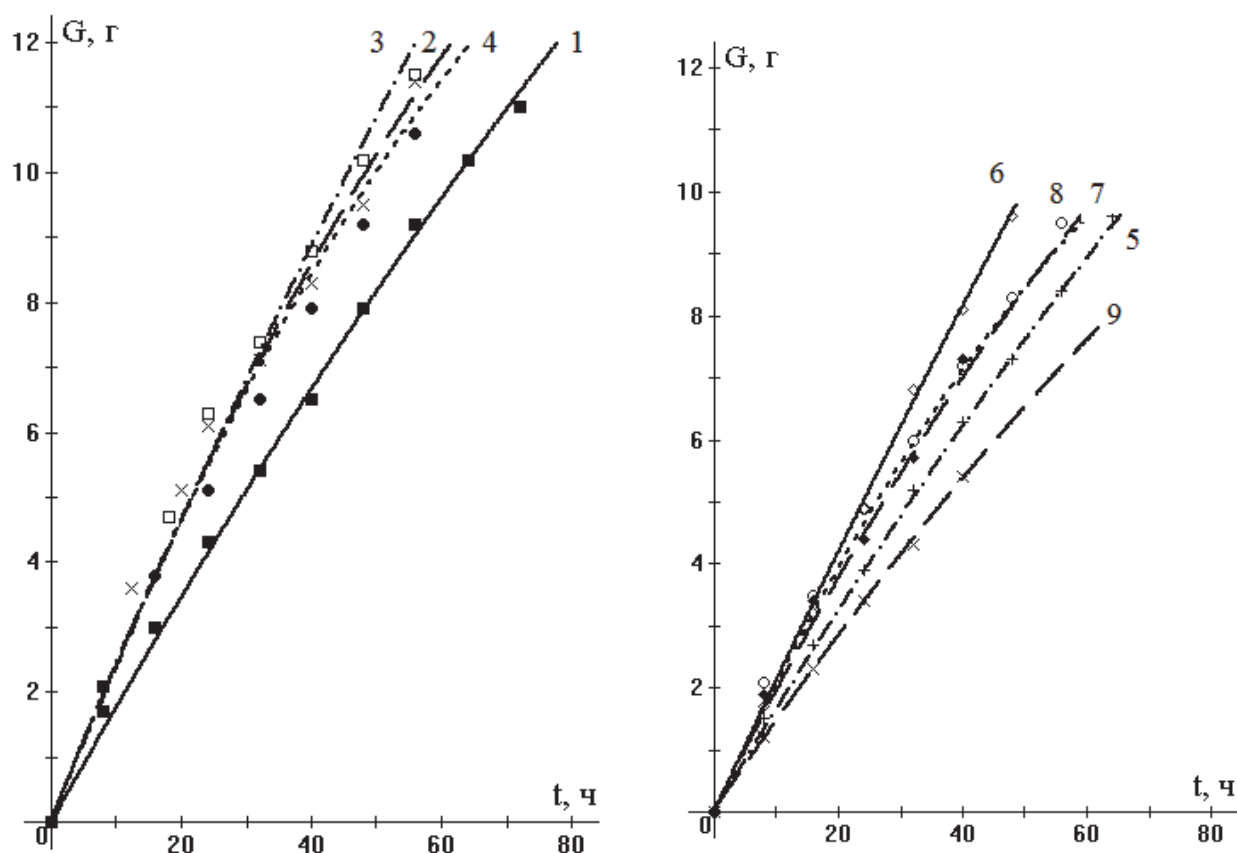


Рисунок 3.2 – Зависимость испаряемости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2 – 9) минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С; 8 – 280 °С; 9 – 300 °С

Проведенный регрессионный анализ представлен в таблице 3.2.

Изменение вязкости окисленного предварительно термостатированного минерального масла оценивалось коэффициентом относительной вязкости K_{μ} , определяемым выражением

$$K_{\mu} = \mu_0 / \mu_{исх}, \quad (3.3)$$

где μ_0 – кинематическая вязкость окисленного масла, мм²/с.

$\mu_{исх}$ – кинематическая вязкость исходного товарного масла до испытания, мм²/с.

Таблица 3.2 – Регрессионные уравнения кривых (рисунок 3.2)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$G = -3,3 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,18 t$
160 °С	$G = -9,0 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,25 t$
180 °С	$G = -4,7 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,24 t$
200 °С	$G = -0,1 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,25 t$
220 °С	$G = -3,0 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,22 t$
240 °С	$G = -9,0 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,21 t$
260 °С	$G = -6,4 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,20 t$
280 °С	$G = -3,3 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,17 t$
300 °С	$G = -3,6 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,15 t$

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9940 до 0,9996.

Согласно справочным данным [102], масло необходимо менять при достижении верхнего или нижнего предела вязкости. Верхним пределом считается повышение вязкости испытуемого масла более чем на 40 % относительно вязкости товарного масла, нижним пределом – падение вязкости на 20 % относительно вязкости товарного масла. С этой целью на графических зависимостях $K_{\mu} = f(t)$ (рисунок 3.3) нанесены штриховые линии, соответствующие значениям коэффициента относительной вязкости 1,4 и 0,8 ед.

Вязкость в данном случае не оказывает влияние на параметр термоокислительной стабильности, так как зависит от образующейся концентрации продуктов деструкции и определяет критическую температуру применения масел, при которой она либо увеличивается на 40 %, либо уменьшается на 20 %. Установлено, что для исследованных проб масел с различными температурами

предварительного термостатирования в пробах масел, термостатированных при температурах 160 и 280 °С, вязкость падает ниже нижнего допустимого предела. Меньший диапазон колебаний вязкости предварительно термостатированного масла относительно вязкости товарного масла установлен для пробы, термостатированной при 300 °С.

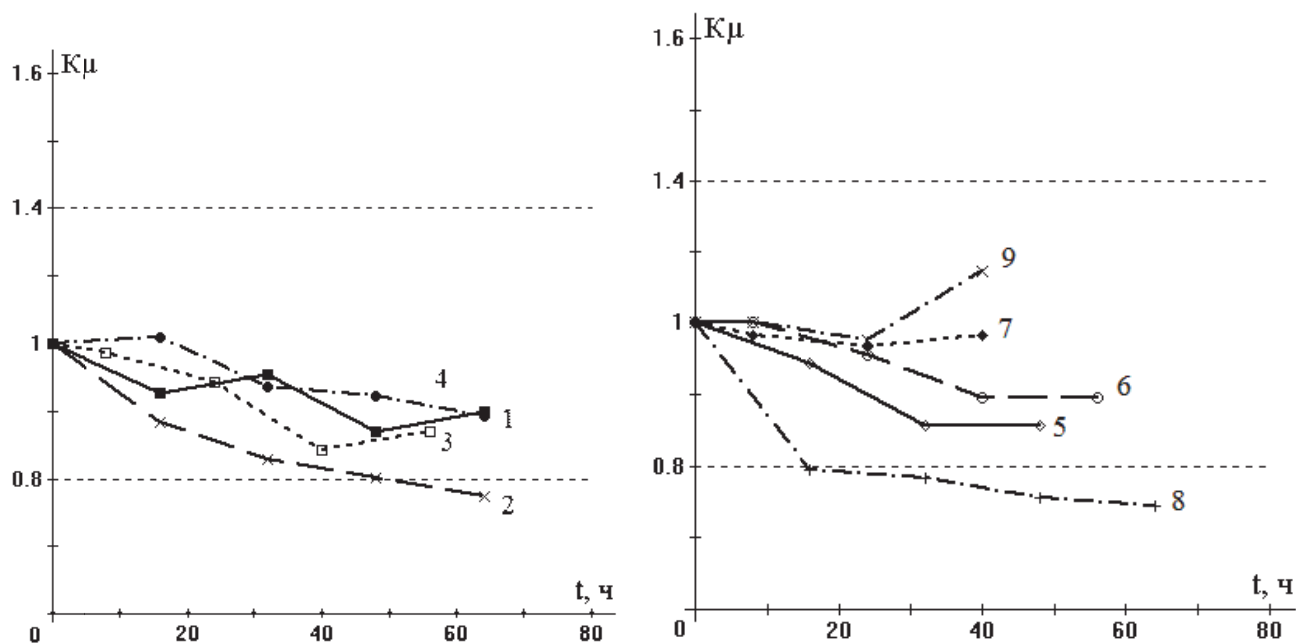


Рисунок 3.3 – Зависимость коэффициента относительной вязкости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–9) минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С; 8 – 280 °С; 9 – 300 °С

В результате проведенных исследований показано, что процесс самоорганизации окисленных предварительно термостатированных минеральных масел происходит по физической модели, которая заключается в том, что при окислении масел высвобождение избыточной тепловой энергии происходит по двум каналам – изменению оптических свойств и испаряемости (рисунок 3.4), т. е. эта модель применима и в предлагаемом методе.

Количество избыточной тепловой энергии $E_{\text{ток}}$ [103] поглощенной моторным маслом определяется как сумма коэффициентов поглощения светового пото-

ка и испаряемости, которая характеризует термоокислительную стабильность и названа коэффициентом термоокислительной стабильности:

$$E_{\text{ток}} = K_{\text{п}} + K_g, \quad (3.4)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент поглощения светового потока, ед;

K_g – коэффициент испаряемости масла, ед;

$$K_g = m / M, \quad (3.5)$$

где m – масса испарившегося масла, г;

M – масса оставшегося масла после термостатирования, г.

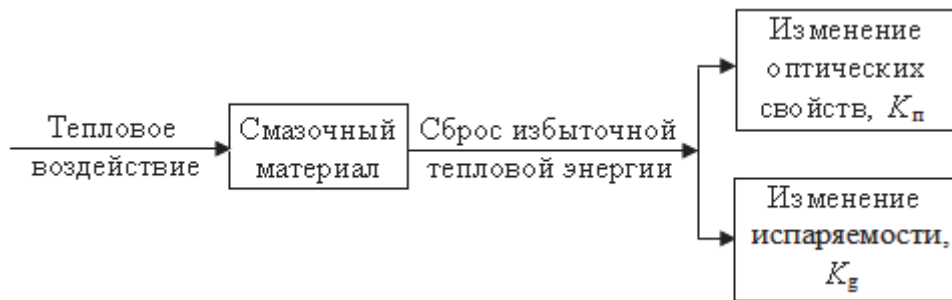


Рисунок 3.4 – Процесс самоорганизации окисленных предварительно термостатированных масел

Зависимость коэффициента $E_{\text{ток}}$ термоокислительной стабильности от времени и температуры окисления предварительно термостатированных масел представлена на рисунке 3.5.

Зависимости коэффициента термоокислительной стабильности описываются полиномом второй степени

$$E_{\text{ток}} = a_e t^2 + b_e t + c_e, \quad (3.6)$$

где a_e – интенсивность изменения коэффициента термоокислительной стабильности от времени окисления, ч⁻¹;

b_e – скорость изменения коэффициента термоокислительной, ч^{-1} ;

c_e – начальное значение коэффициента термоокислительной, после предварительного термостатирования.

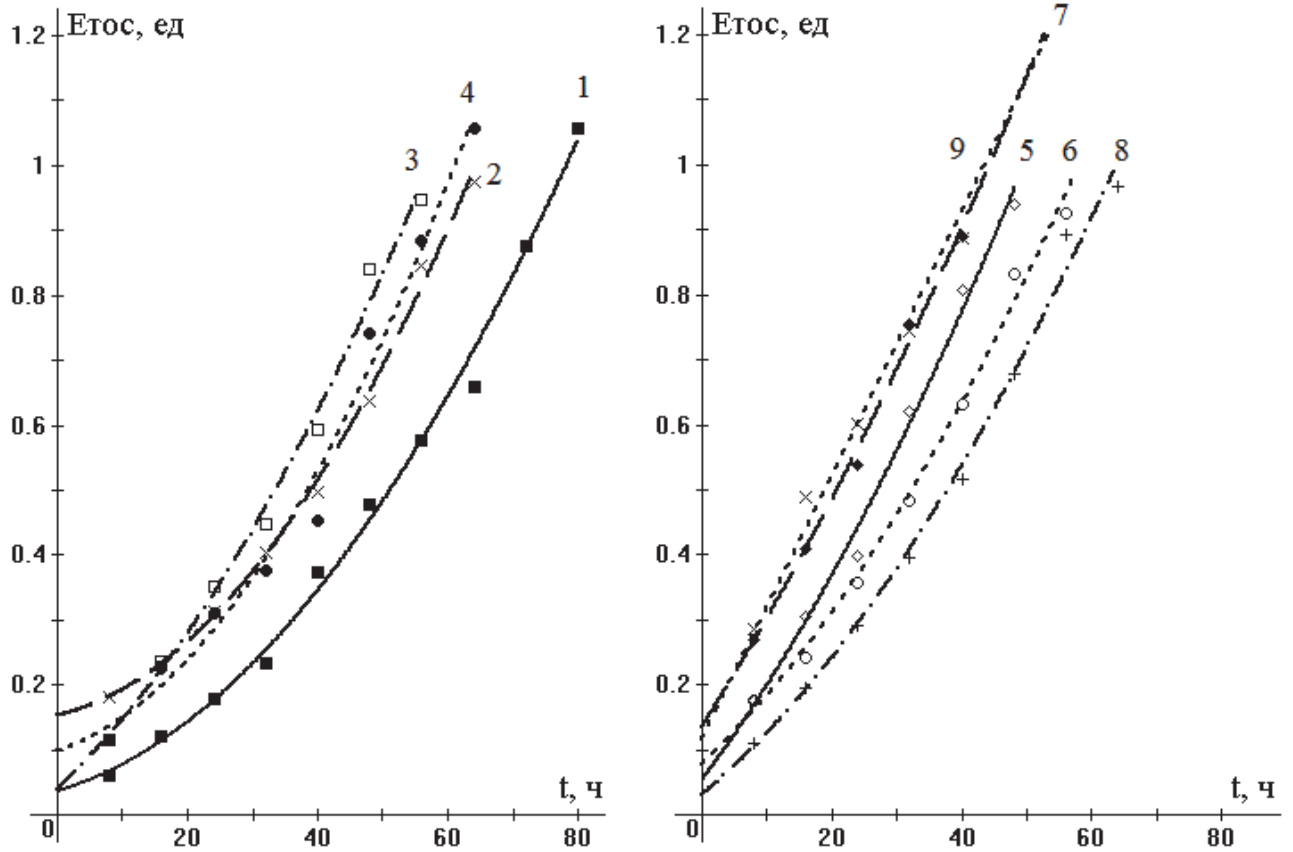


Рисунок 3.5 – Зависимости коэффициента температурной стойкости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–9) минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С; 8 – 280 °С; 9 – 300 °С

При температуре термостатирования 300 °С кривая может описываться полиномом второго порядка, но при этом интенсивность изменения коэффициента термоокислительной стабильности практически равна нулю. Пренебрегая параметром a_e , можно делать вывод, что зависимость линейная, следовательно, при 300 °С появляется переход функции, а при термостатировании при температуре выше 300 °С параметр a_e будет иметь знак « \leftarrow ». Значит, процесс окисления

замедлится. Регрессионные уравнения зависимостей $E_{\text{ТОК}} = f(t)$ представлены в таблице 3.3

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9954 до 0,9994.

Таблица 3.3 – Регрессионные уравнения зависимостей (рисунок 3.5)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$E_{\text{ТОК}} = 1,19 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0030 t + 0,0368$
160 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,69 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0023 t + 0,1524$
180 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,28 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0094 t + 0,0390$
200 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,89 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0032 t + 0,0980$
220 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,11 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0136 t + 0,0537$
240 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,11 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0094 t + 0,0779$
260 °С	$E_{\text{ТОК}} = 8,37 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0158 t + 0,1340$
280 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,06 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0084 t + 0,0300$
300 °С	$E_{\text{ТОК}} = 0,0182 t + 0,1641$

Противоизносные свойства предварительно термостатированных масел оценивались по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на трех шарах на установке для исследования трущихся материалов [96]. Результаты исследования представлены на рисунке 3.6.

Установлена общая тенденция изменения противоизносных свойств от времени испытания. Из рисунка 3.6 видно, что противоизносные свойства предварительно термостатированных масел улучшаются. Согласно рисунку 3.1 видно, что изгиб зависимости $K_{\text{п}} = f(t)$ происходит в пределах 30–40 ч испытания. При оценке противоизносных свойств установлено, что в области первичных продуктов окисления улучшение противоизносных свойств происходит интенсивно, диапазон показателя износа в усредненном значении составляет от 0,42 до 0,25 мм. При переходе первичных продуктов окисления во вторичные интенсивность изменения противоизносных свойств замедляется, и усредненные значения диапазона составляют уже от 0,25 до 0,2 мм. Происходящие изменения противоизносных

свойств можно охарактеризовать различной концентрацией в структуре и свойствах граничных слоев, которые в свою очередь зависят от концентрации продуктов деструкции [104–107]. В связи с этим необходимо определять изменения противоизносных свойств от концентрации продуктов окисления и температуры предварительного термостатирования смазочных масел.

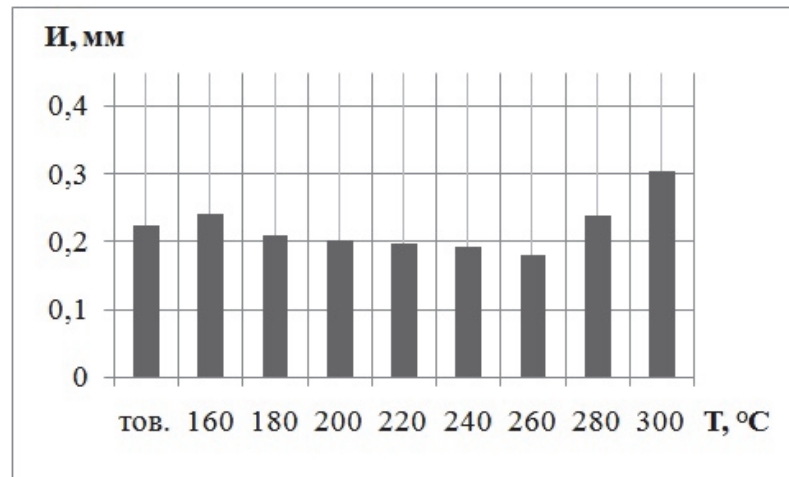


Рисунок 3.6 – Гистограмма изменения значения показателя износа товарного и окисленного моторного масла после предварительного термостатирования минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC

В качестве такого комплексного показателя в данной работе использован предложенный ранее [108] критерий противоизносных свойств предварительно термостатированных масел Π , ед/мм². Данный критерий определяется как отношение коэффициента K_{Π} , характеризующего изменение оптических свойств масел и зависящего от температурного режима испытания, к площади пятна износа S :

$$\Pi = \frac{K_{\Pi}}{S}. \quad (3.7)$$

Критерий позволяет дать характеристику условной концентрации продуктов температурной деструкции на исследуемой площади фрикционного контакта [109].

Зависимости критерия противоизносных свойств Π от коэффициента поглощения светового потока K_{Π} представлены на рисунке 3.7.

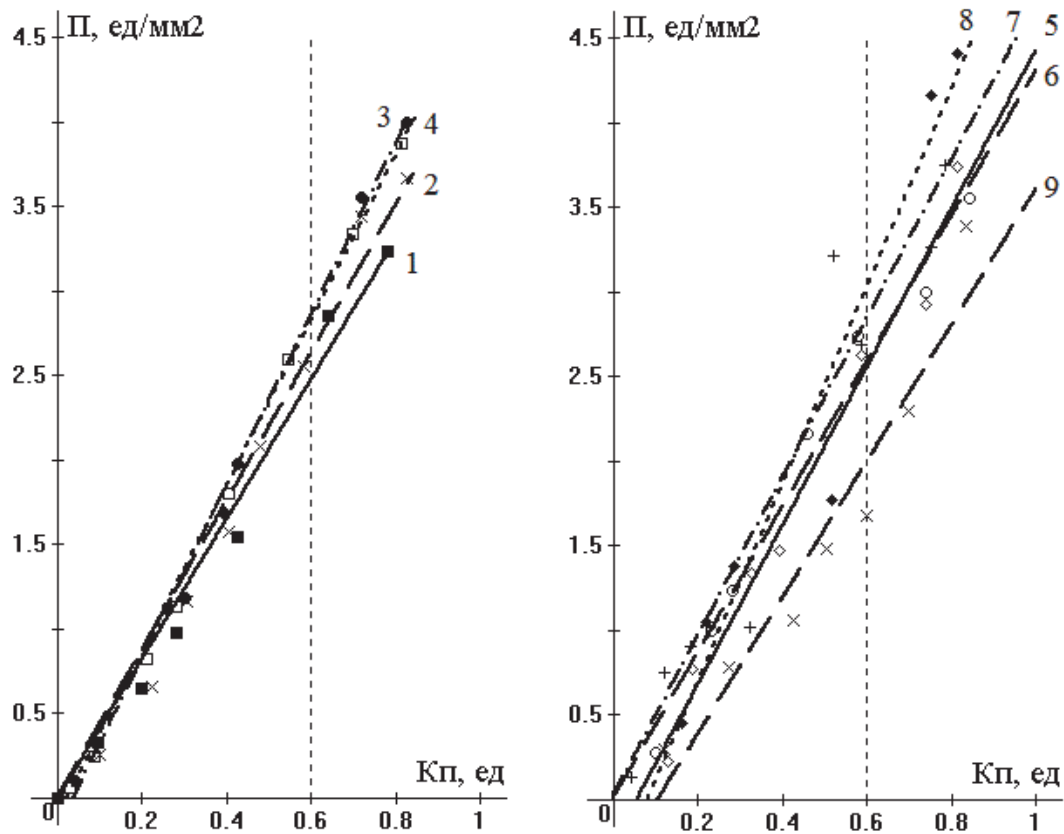


Рисунок 3.7 – Зависимости критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока товарного (1) и термостатированного (2–9) минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC при температурах термостатирования: 2 – 160 °C; 3 – 180 °C; 4 – 200 °C; 5 – 220 °C; 6 – 240 °C; 7 – 260 °C; 8 – 280 °C; 9 – 300 °C

Зависимость $\Pi = f(K_p)$ описывается линейным уравнением

$$\Pi = a_{\Pi} (K_p - K_{\Pi,н}), \quad (3.8)$$

где a_{Π} – скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте, $1/\text{мм}^2$;

K_p – коэффициент поглощения светового потока при испытании;

$K_{\Pi,н}$ – начальное значение коэффициента поглощения светового потока, обусловленное предварительным термостатированием.

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9958 до 0,9984.

Анализ приведенных уравнений позволяет сделать вывод о влиянии температуры предварительного термостатирования масла на противоизносные свойства

и скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте, т. е. чем больше значение критерия противоизносных свойств, тем выше противоизносные свойства масла.

Таблица 3.4 – Регрессионные уравнения зависимостей (рисунок 3.7)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$\Pi = 4,13 K_{\Pi}$
160 °С	$\Pi = 4,38 K_{\Pi}$
180 °С	$\Pi = 4,48 (K_{\Pi} - 0,027)$
200 °С	$\Pi = 4,97 (K_{\Pi} - 0,04)$
220 °С	$\Pi = 5,18 (K_{\Pi} - 0,127)$
240 °С	$\Pi = 5,23 (K_{\Pi} - 0,100)$
260 °С	$\Pi = 7,08 (K_{\Pi} - 0,163)$
280 °С	$\Pi = 4,48 (K_{\Pi} - 0,040)$
300 °С	$\Pi = 3,95 (K_{\Pi} - 0,120)$

Для оценки влияния температуры предварительного термостатирования на противоизносные свойства смазочных масел предложен коэффициент влияния предварительного термостатирования, определяемый отношением:

$$K_{\Pi T} = \frac{a_{\Pi. TC}}{a_{\Pi. TOB}}, \quad (3.9)$$

где $a_{\Pi. TC}$ – скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте предварительного термостатированного масла, $1/\text{мм}^2$;

$a_{\Pi. TOB}$ – параметр, характеризующий скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте товарного масла, $1/\text{мм}^2$.

На рисунке 3.8. представлена зависимость коэффициента влияния предварительного термостатирования масел от температуры термостатирования.

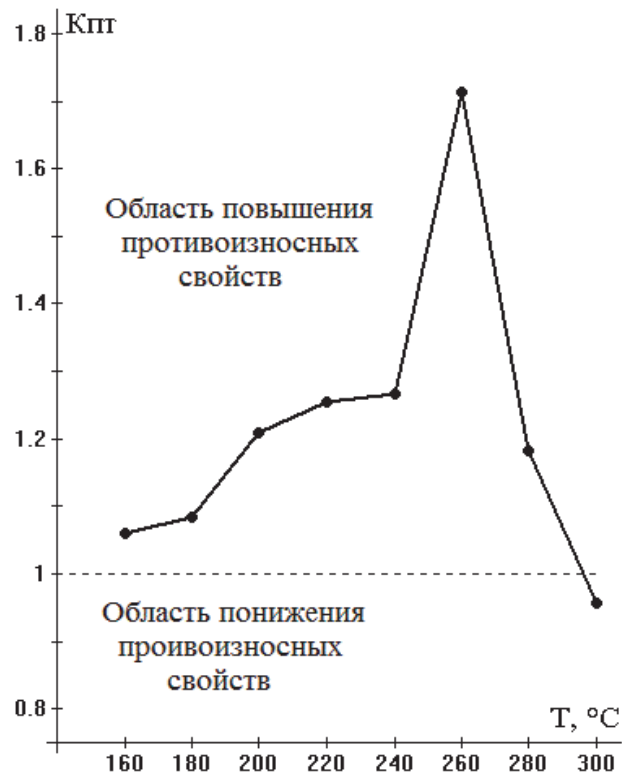


Рисунок 3.8 – Зависимость влияния предварительного термостатирования минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC от температуры термостатирования

Установлено, что при температуре предварительного термостатирования 260 °С критерий противоизносных свойств выше критерия, полученного у товарного масла на 74 %. Следовательно, при такой температуре термостатирования противоизносные свойства лучше, чем при остальных температурах предварительного термостатирования для минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC.

3.2 Испытание частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD

На рисунке 3.9 отображены зависимости изменения оптических свойств, оцениваемых коэффициентом поглощения светового потока $K_{п}$, от времени окисления товарного и термостатированных масел в диапазоне температур от 160 до 300 °С.

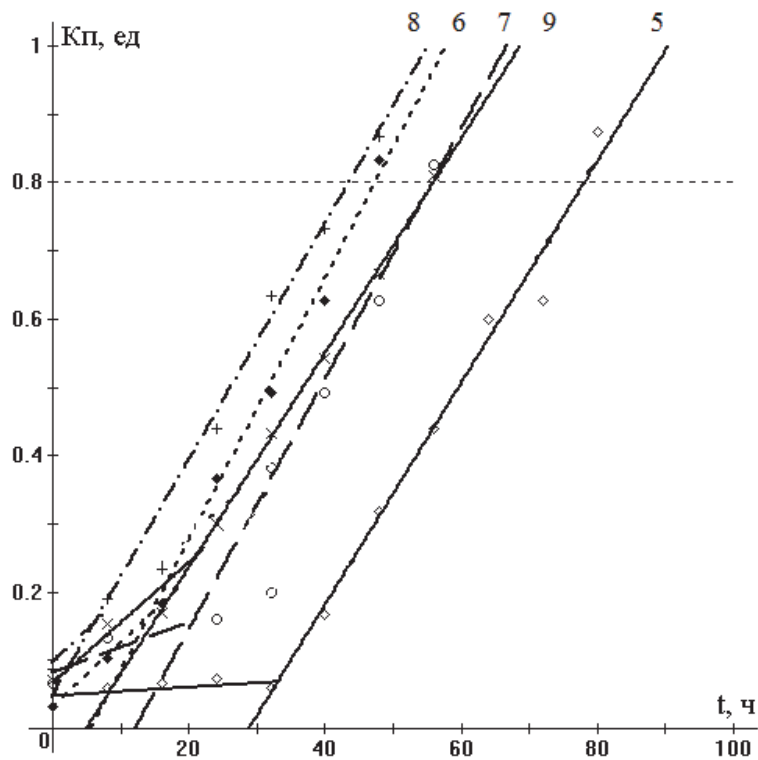
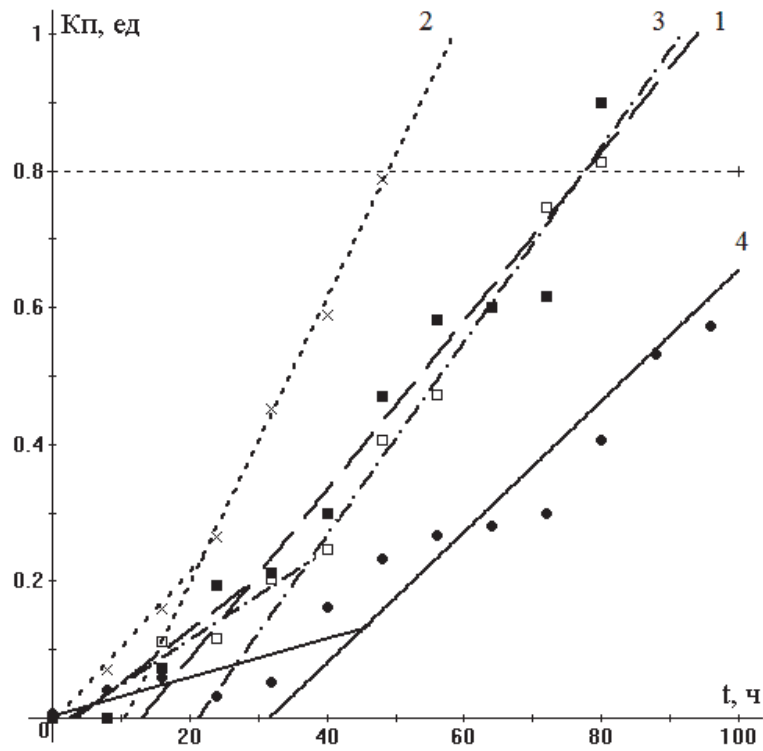


Рисунок 3.9 – Зависимости коэффициента поглощения светового потока от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–9) частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С; 8 – 280 °С; 9 – 300 °С

Установлено, что предварительное термостатирование масла при температуре 200 °С приводит к улучшению оптических свойств, что объясняется недостижимостью предельного значения коэффициентом поглощения светового потока K_n при сопоставлении товарного и термостатированного частично-синтетического смазочного масла.

Согласно проведенному регрессионному анализу (таблица 3.5) установлено, что у масел, термостатированных при температурах 180, 220 °С и выше, в зоне первичных продуктов деструкции появляется параметр b_k , который характеризует начальную концентрацию продуктов деструкции, полученную при термостатировании масла. Наибольшая скорость образования первичных продуктов установлена для пробы масла, термостатированного при 240 и 280 °С, и составила соответственно 0,0094 и 0,0091 ед./ч, наименьшая скорость – 0,00063 ед./ч установлена для пробы масла, термостатированного при температуре 220 °С. Наибольшая скорость образования вторичных продуктов деструкции установлена для пробы масла, термостатированного при 160 °С – 0,0208 ед./ч, а наименьшая – 0,0045 ед./ч для пробы масла, термостатированного при 200 °С. Из всех кривых примечательна кривая, соответствующая пробе масла, термостатированного при 300 °С. Здесь с начала проведения опыта образовались вторичные продукты, о чем свидетельствует скорость их образования – 0,0088 ед./ч и наличие гелеобразного осадка при центрифугировании.

Таблица 3.5 – Регрессионные уравнения кривых (рисунок 3.9)

Параметр	Первый участок	Второй участок
Без термостатирования	$K_n = 0,0077 t$	$K_n = 0,0123 t - 0,162$
160 °С	$K_n = 0,0110 t$	$K_n = 0,0208 t - 0,225$
180 °С	$K_n = 0,0065 t + 0,0254$	$K_n = 0,0142 t - 0,304$
200 °С	$K_n = 0,0028 t$	$K_n = 0,0045 t - 0,302$
220 °С	$K_n = 0,00063 t + 0,0474$	$K_n = 0,0152 t - 0,467$
240 °С	$K_n = 0,0094 t + 0,031$	$K_n = 0,019 t - 0,109$

Окончание таблицы 3.5

Параметр	Первый участок	Второй участок
260 °С	$K_n = 0,036 t + 0,081$	$K_n = 0,018 t - 0,224$
280 °С	$K_n = 0,0091 t + 0,097$	$K_n = 0,0172 t - 0,047$
300 °С	$K_n = 0,0088 t + 0,067$	$K_n = 0,0156 t - 0,077$

Испаряемость моторного масла (рисунок 3.10) является эксплуатационным показателем, поскольку косвенно характеризует процессы деструкции: чем ниже интенсивность изменения зависимости испаряемости от времени окисления, тем медленнее протекают процессы окисления термостатированных масел.

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9911 до 0,9999.

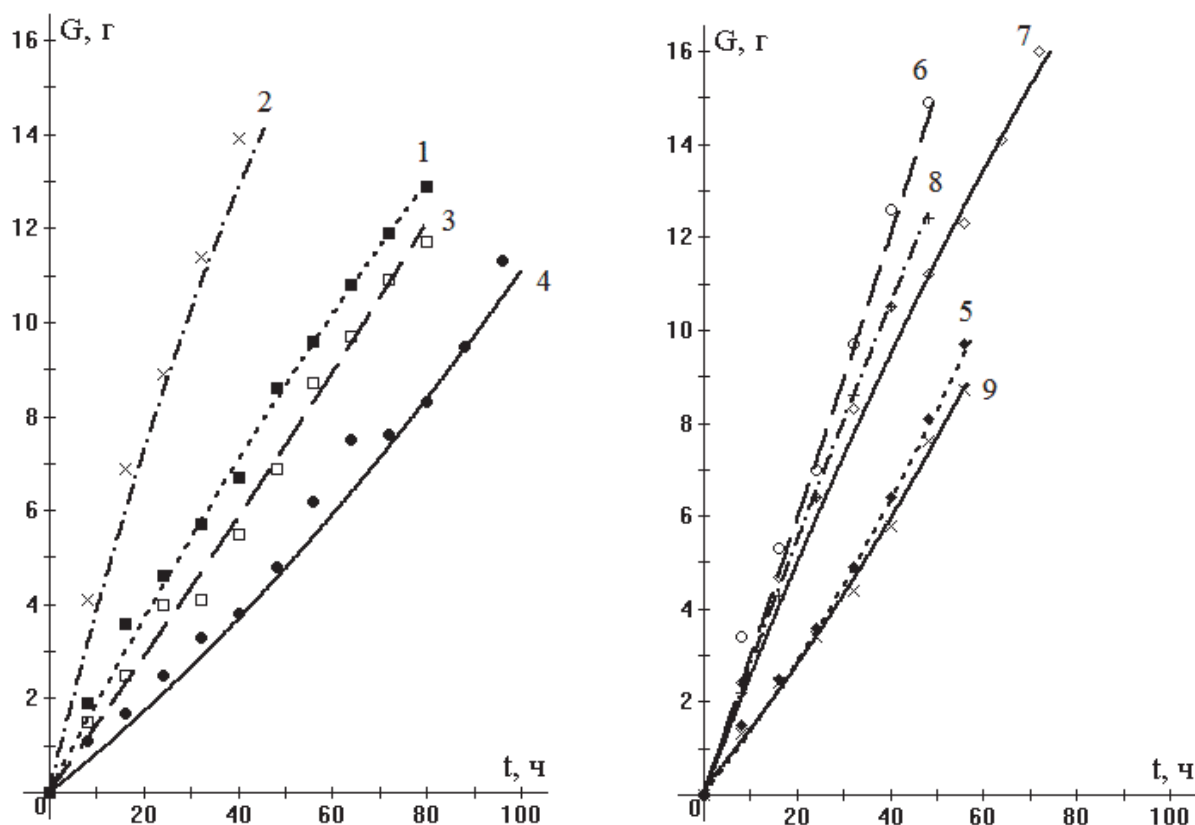


Рисунок 3.10 – Зависимость испаряемости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–9) частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С; 8 – 280 °С; 9 – 300 °С

Установлено, что масло, термостатированное при 200 °С (кривая 4 на рисунке 3.10), имеет самую низкую испаряемость за 100 ч испытания – 12,5 г, а масло, термостатированное при 160 °С (кривая 2 на рисунке 3.10), имеет самую высокую испаряемость за 100 ч испытания – 16,1 г. Регрессионные уравнения кривых представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Регрессионные уравнения кривых (рисунок 3.10)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$G = -3,5 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,19 t$
160 °С	$G = -0,002 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,4 t$
180 °С	$G = -1,4 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,14 t$
200 °С	$G = -3,1 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,08 t$
220 °С	$G = -6,2 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,26 t$
240 °С	$G = -2,8 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,29 t$
260 °С	$G = -7,7 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,13 t$
280 °С	$G = -4,3 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,28 t$
300 °С	$G = -5,8 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,122 t$

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9940 до 0,9996.

Вязкость (рисунок 3.11) в данном случае не влияет на параметр термоокислительной стабильности, так как зависит от образующейся концентрации продуктов деструкции и определяет критическую температуру применения масел, при которой она либо увеличивается на 40 %, либо уменьшается на 20 %. Установлено, что для исследованных проб масел с различными температурами предварительного термостатирования, у проб масел, термостатированных при температурах 160 °С, вязкость падает ниже нижнего допустимого предела. Меньший диапазон колебаний вязкости предварительно термостатированного масла относительно вязкости товарного масла установлен для пробы, термостатированной при 300 °С.

Зависимость коэффициента $E_{\text{ток}}$ от температуры окисления предварительно термостатированных масел отображена на рисунке 3.12.

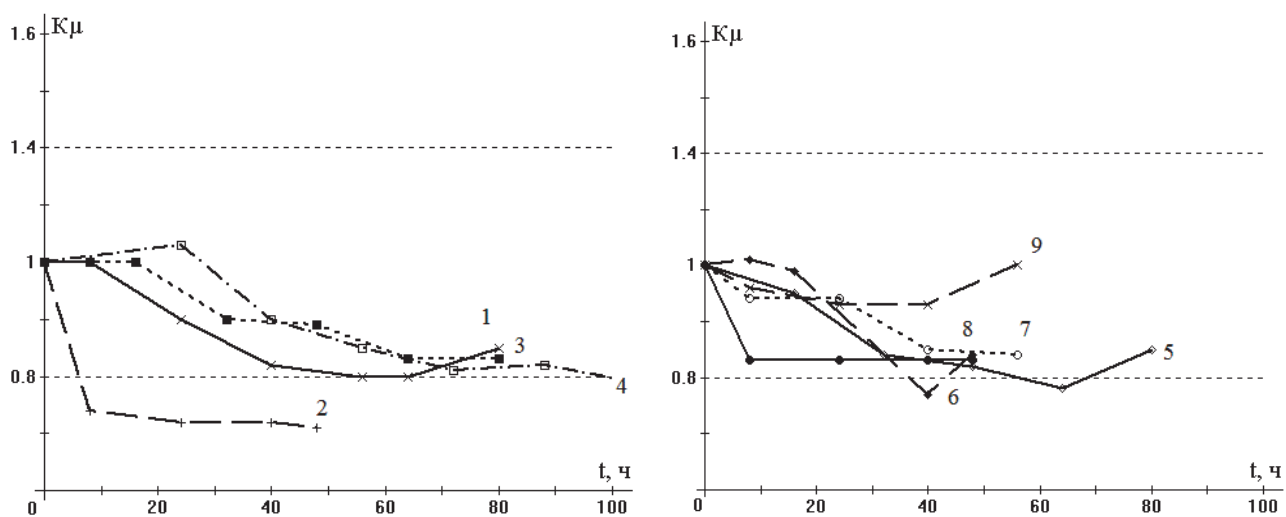


Рисунок 3.11 – Зависимости коэффициента относительной вязкости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–9) частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С; 8 – 280 °С; 9 – 300 °С

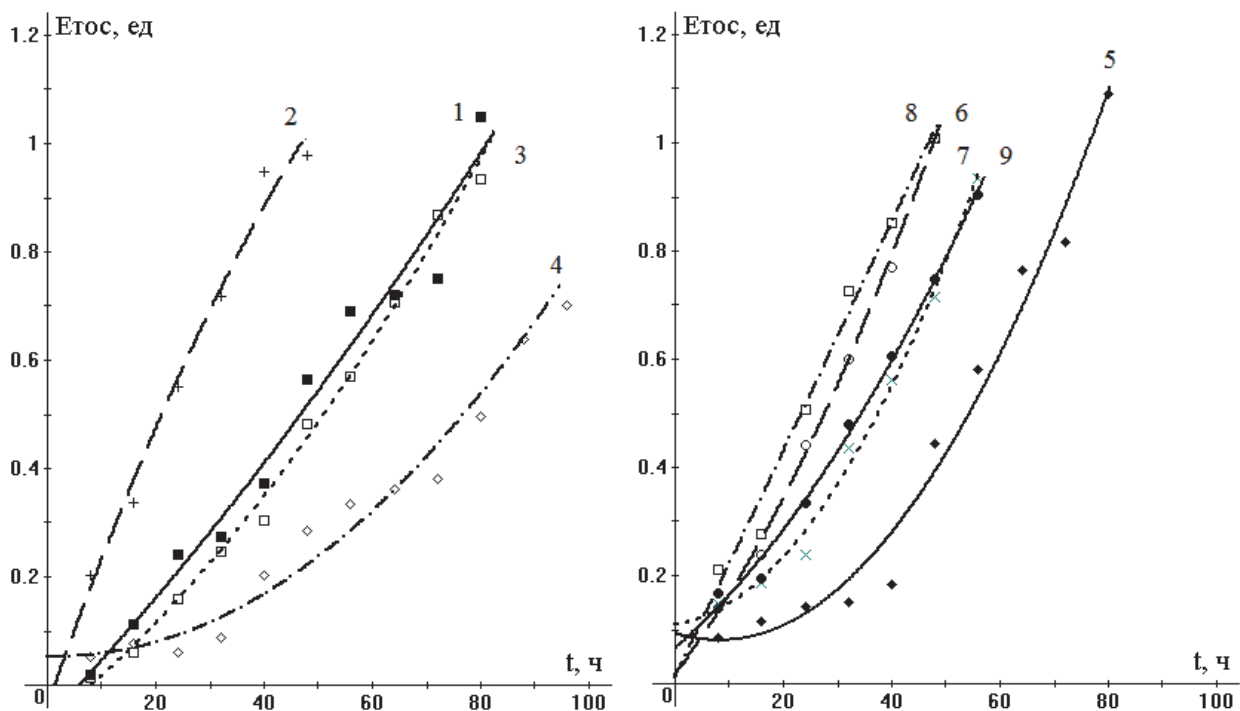


Рисунок 3.12 – Зависимости коэффициента температурной стойкости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–9) частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С; 8 – 280 °С; 9 – 300 °С

Регрессионные уравнения зависимостей $E_{\text{ТОК}} = f(t)$ представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Регрессионные уравнения зависимостей (рисунок 3.12)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$E_{\text{ТОК}} = 3,13 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,011 t + 0,063$
160 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,26 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,028 t + 0,41$
180 °С	$E_{\text{ТОК}} = 0,65 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0078 t + 0,069$
200 °С	$E_{\text{ТОК}} = 0,8 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,00034 t + 0,053$
220 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,95 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0031 t + 0,092$
240 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,54 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,013 t + 0,015$
260 °С	$E_{\text{ТОК}} = 2,37 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0014 t + 0,108$
280 °С	$E_{\text{ТОК}} = 8,64 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0206 t + 0,0107$
300 °С	$E_{\text{ТОК}} = 1,16 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,008 t + 0,066$

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9954 до 0,9994

Изгиб зависимости $K_{\text{п}} = f(t)$ происходит в пределах 30–40 ч испытания (рисунок 3.13). При оценке противоизносных свойств установлено, что в области первичных продуктов деструкции улучшение противоизносных свойств происходит интенсивно, диапазон показателя износа в усредненном значении составляет от 0,38 до 0,14 мм. При переходе от первичных продуктов деструкции во вторичные интенсивность изменения противоизносных свойств замедляется и усредненные значения диапазона составляют уже от 0,15 до 0,14 мм.

Зависимости критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока представлены на рисунке 3.14.

Анализ приведенных регрессионных уравнений (таблица 3.8) позволяет сделать вывод о влиянии температуры предварительного термостатирования масла на противоизносные свойства и скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте, т. е. чем больше значение критерия противоизносных свойств, тем выше противоизносные свойства масла.

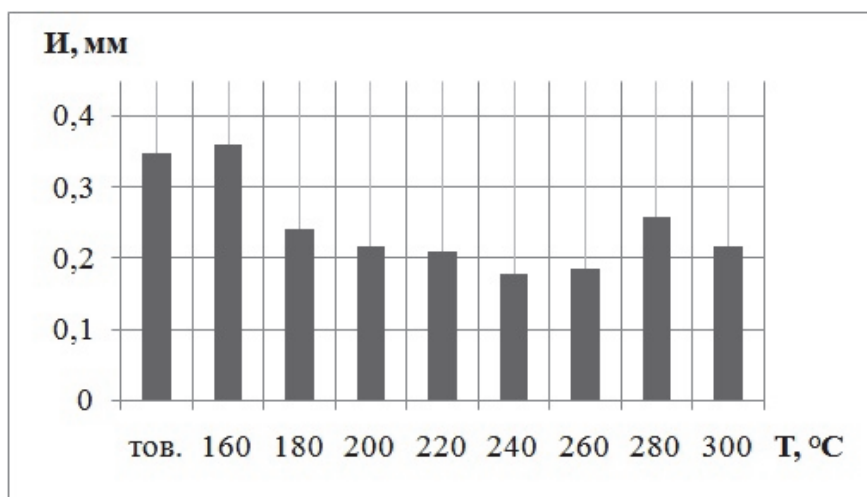


Рисунок 3.13 – Гистограмма изменения значения показателя износа товарного и окисленного моторного масла после предварительного термостатирования частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD.

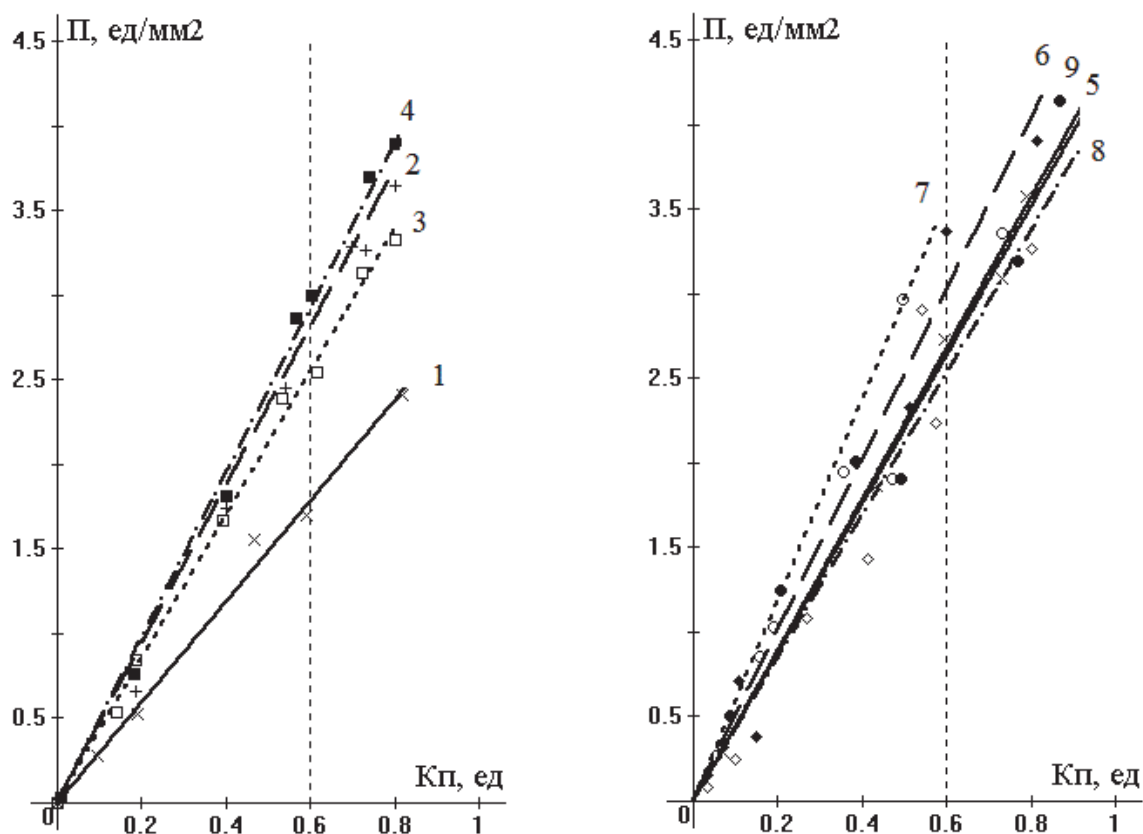


Рисунок 3.14 – Зависимости критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока товарного (1) и термостатированного (2–9) частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах термостатирования: 2 – 160 °C; 3 – 180 °C; 4 – 200 °C; 5 – 220 °C; 6 – 240 °C; 7 – 260 °C; 8 – 280 °C; 9 – 300 °C

Таблица 3.8 – Регрессионные уравнения зависимостей (рисунок 3.14)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$\Pi = 2,97 K_{\Pi}$
160 °С	$\Pi = 4,67 K_{\Pi}$
180 °С	$\Pi = 4,23 K_{\Pi}$
200 °С	$\Pi = 4,85 K_{\Pi}$
220 °С	$\Pi = 4,39 K_{\Pi}$
240 °С	$\Pi = 5,03 K_{\Pi}$
260 °С	$\Pi = 5,89 K_{\Pi}$
280 °С	$\Pi = 4,21 K_{\Pi}$
300 °С	$\Pi = 4,46 K_{\Pi}$

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9958 до 0,9984.

На рисунке 3.15 представлена зависимость коэффициента влияния предварительного термостатирования масел от температуры термостатирования.



Рисунок 3.15 – Зависимость влияния предварительного термостатирования частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD от температуры термостатирования

Установлено, что при температуре предварительного термостатирования 240 °С критерий противоизносных свойств выше критерия, полученного у товарного масла, на 98 %, следовательно, при такой температуре термостатирования противоизносные свойства лучше, чем при остальных температурах предварительного термостатирования для частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD.

3.3 Испытание синтетического моторного масла Mobil Super 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF

На рисунке 3.16 отображены зависимости изменения оптических свойств, оцениваемых коэффициентом поглощения светового потока K_p , от времени окисления товарного и термостатированных масел в диапазоне температур от 160 до 260 °С.

Установлено, что предварительное термостатирование масла при температуре 180, 200 и 220 °С приводит к улучшению оптических свойств, что объясняется недостижимостью предельного коэффициента поглощения светового потока при сравнении товарного и термостатированного синтетического смазочного масла.

Согласно проведенному регрессионному анализу (таблица 3.9) установлено, что у масел, термостатированных при температурах 160 °С и выше, в зоне первичных продуктов деструкции появляется параметр b_k , который характеризует начальную концентрацию продуктов деструкции, полученную при термостатировании масла. Наибольшая скорость образования первичных продуктов установлена для пробы масла, термостатированного при 160 и 260 °С, которая составила соответственно 0,208 и 0,2144 ед/ч, наименьшая скорость – 0,0095 ед/ч установлена для пробы масла термостатированного при температуре 180 °С. Наибольшая скорость образования вторичных продуктов деструкции установлена для пробы масла, термостатированного при 240 °С – 0,80 ед/ч, а наименьшая – 0,1707 ед/ч для пробы масла, термостатированного при 160 °С. Из всех кривых примечательна кривая, соответствующая пробе масла, термостатированного при 160 и 260 °С.

Здесь с начала проведения опыта образовались вторичные продукты, о чем свидетельствует скорость их образования, которая составила соответственно – 0,208 и 0,2144 ед/ч и наличие гелеобразного осадка при центрифугировании.

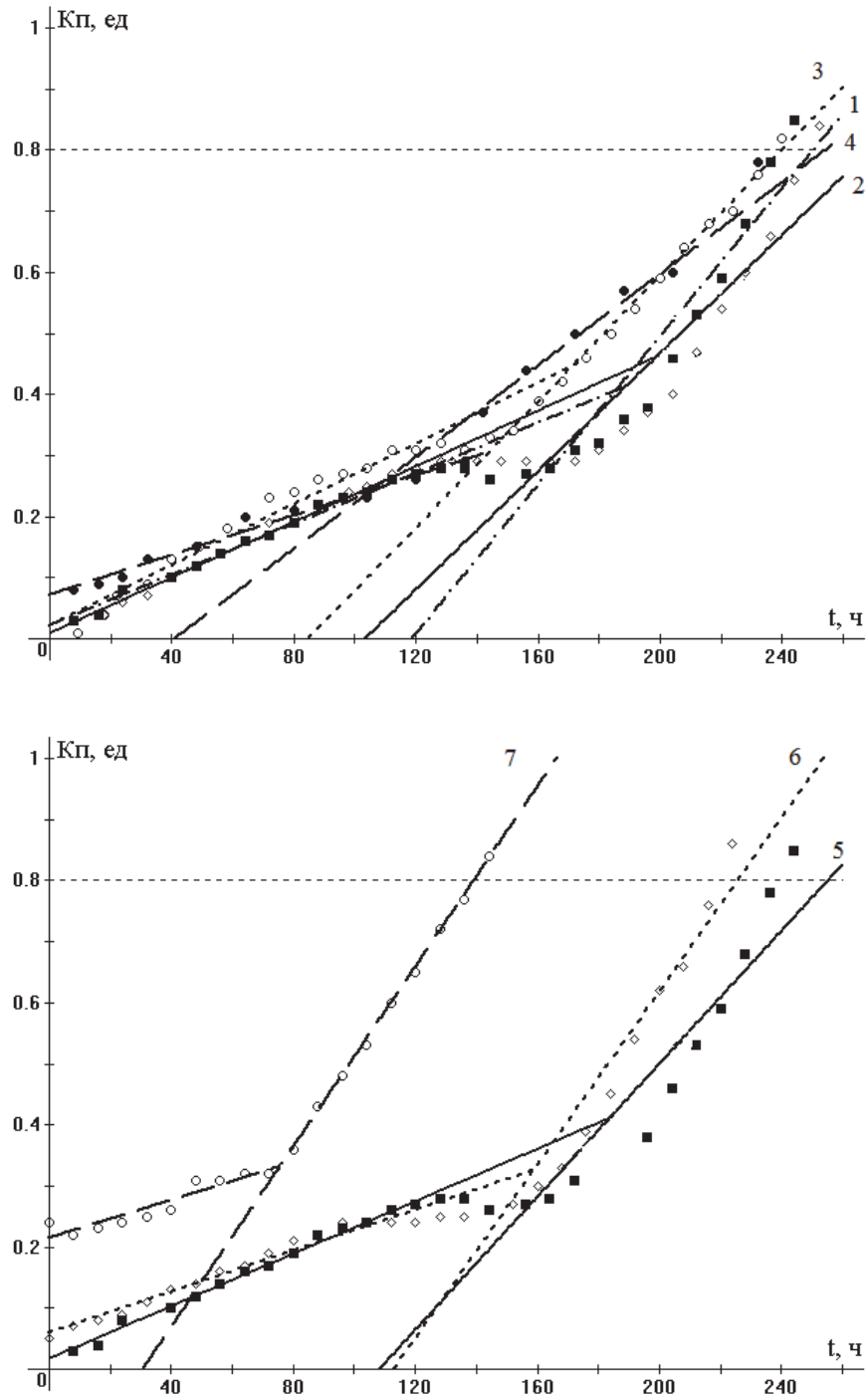


Рисунок 3.16 – Зависимости коэффициента поглощения светового потока от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–7) синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С

Таблица 3.9 – Регрессионные уравнения кривых (рисунок 3.16)

Параметр	Первый участок	Второй участок
Без термостатирования	$K_{\Pi} = 0,0016 t$	$K_{\Pi} = 0,0038 t$
160 °С	$K_{\Pi} = 0,0025 t + 0,208$	$K_{\Pi} = 0,0008 t - 0,1707$
180 °С	$K_{\Pi} = 0,0023 t + 0,0095$	$K_{\Pi} = 0,0048 t - 0,4990$
200 °С	$K_{\Pi} = 0,0021 t + 0,0213$	$K_{\Pi} = 0,0061 t - 0,7226$
220 °С	$K_{\Pi} = 0,0022 t + 0,0176$	$K_{\Pi} = 0,0054 t - 0,5885$
240 °С	$K_{\Pi} = 0,0017 t + 0,0594$	$K_{\Pi} = 0,0071 t - 0,8027$
260 °С	$K_{\Pi} = 0,0015 t + 0,2144$	$K_{\Pi} = 0,0074 t - 0,2282$

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9916 до 0,9998.

Испаряемость моторного масла (рисунок 3.17) является эксплуатационным показателем, поскольку косвенно характеризует процессы деструкции: чем ниже интенсивность изменения зависимости испаряемости от времени окисления, тем медленнее протекают процессы окисления термостатированных масел. Согласно проведенному регрессионному анализу (таблица 3.10) установлено, что масло, термостатированное при 260 °С (кривая 7 на рисунке 3.18), имеет самую низкую испаряемость за 250 ч испытания – 14,5 г, а масло, термостатированное при 160 °С (кривая 2 на рисунке 3.18), имеет самую высокую испаряемость за 250 ч испытания – 30 г.

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9940 до 0,9996.

Таблица 3.10 – Регрессионные уравнения кривых (рисунок 3.17)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$G = -0,12 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,15 t$
160 °С	$G = -0,47 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,13 t$
180 °С	$G = -0,28 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,086 t$
200 °С	$G = -0,0035 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,095 t$
220 °С	$G = -0,29 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,09 t$
240 °С	$G = -0,20 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,09 t$
260 °С	$G = -0,1 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,09 t$

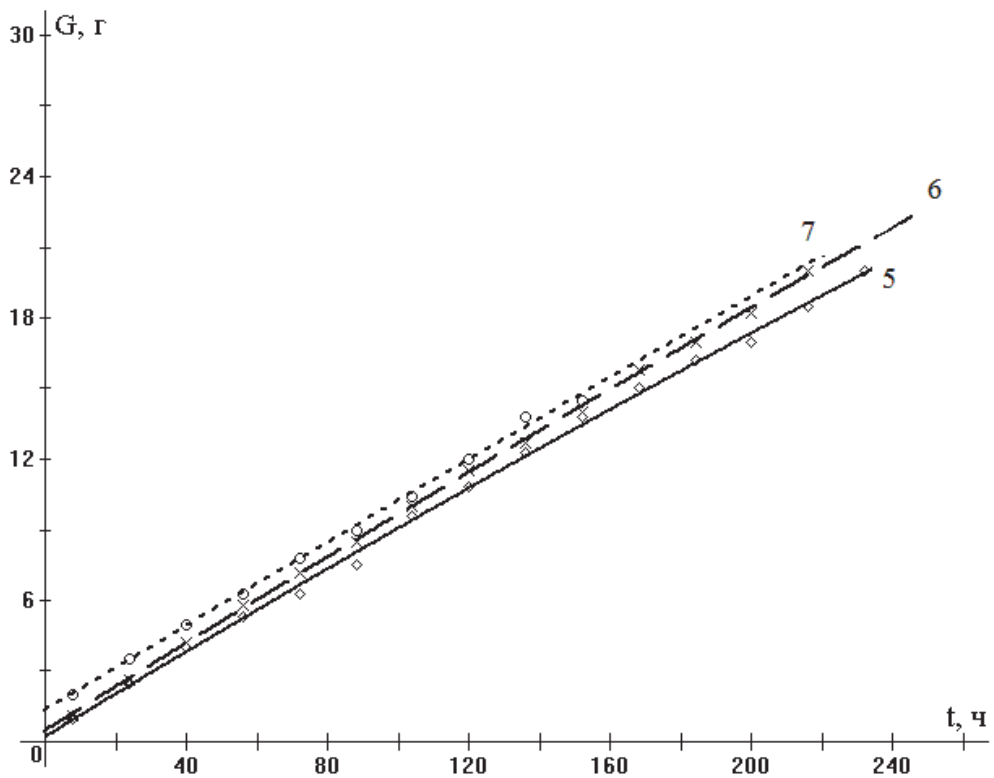
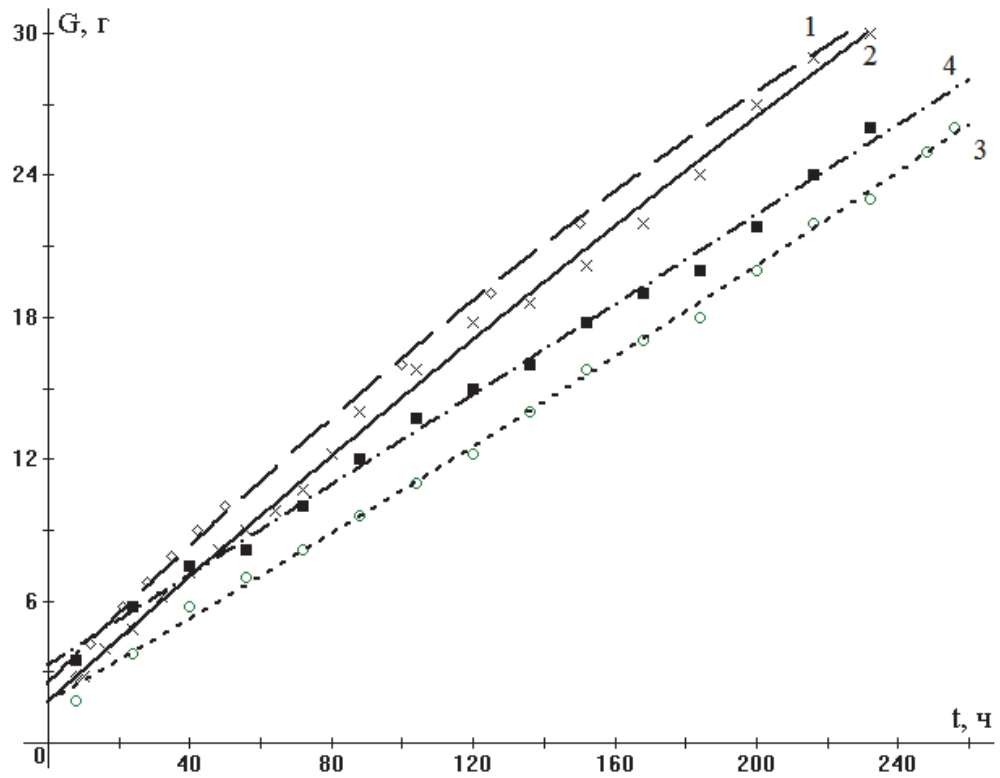


Рисунок 3.17 – Зависимости испаряемости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–7) синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С.

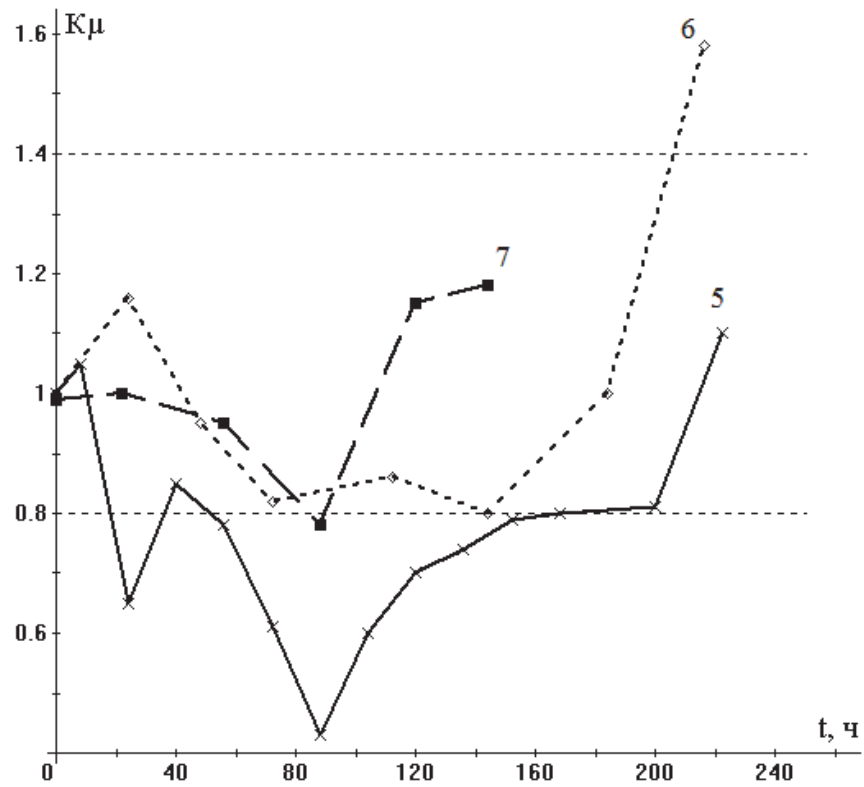
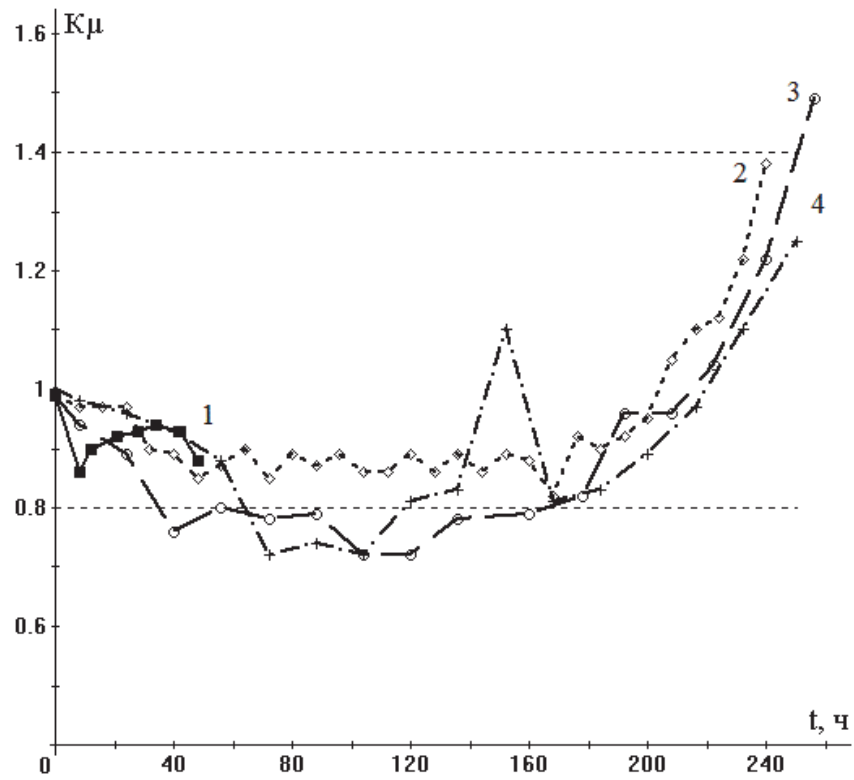


Рисунок 3.18 – Зависимости коэффициента относительной вязкости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–7) синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С.

Установлено, что для исследованных проб масел (рисунок 3.18) с различными температурами предварительного термостатирования у проб масел, термостатированных при температурах 180, 200 и 220 °С, вязкость падает ниже нижнего допустимого предела. Меньший диапазон колебаний вязкости предварительно термостатированного масла относительно вязкости товарного масла установлен для пробы, термостатированной при 160 °С.

Зависимость коэффициента $E_{\text{ток}}$ от температуры окисления предварительно термостатированных масел представлена на рисунок 3.19.

При температуре термостатирования 260 °С кривая может описываться как полиномом второго порядка, но при этом интенсивность изменения коэффициента термоокислительной стабильности практически равна нулю. Пренебрегая параметром a_e , можно делать вывод, что зависимость линейная, следовательно, при 260 °С появляется переход функции, при термостатировании при температуре выше 260 °С параметр a_e будет иметь знак «-», а значит, процесс окисления замедлится. Регрессионные уравнения зависимостей $E_{\text{ток}} = f(t)$ представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Регрессионные уравнения зависимостей (рисунок 3.19)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$E_{\text{ток}} = 0,043 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0045 t + 0,0241$
160 °С	$E_{\text{ток}} = 0,056 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0043 t + 0,0391$
180 °С	$E_{\text{ток}} = 0,098 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0013 t + 0,0784$
200 °С	$E_{\text{ток}} = 0,079 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0017 t + 0,0765$
220 °С	$E_{\text{ток}} = 0,23 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0012 t + 0,1675$
240 °С	$E_{\text{ток}} = 0,22 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0005 t + 0,1382$
260 °С	$E_{\text{ток}} = 0,34 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0004 t + 0,2677$

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9954 до 0,9994.

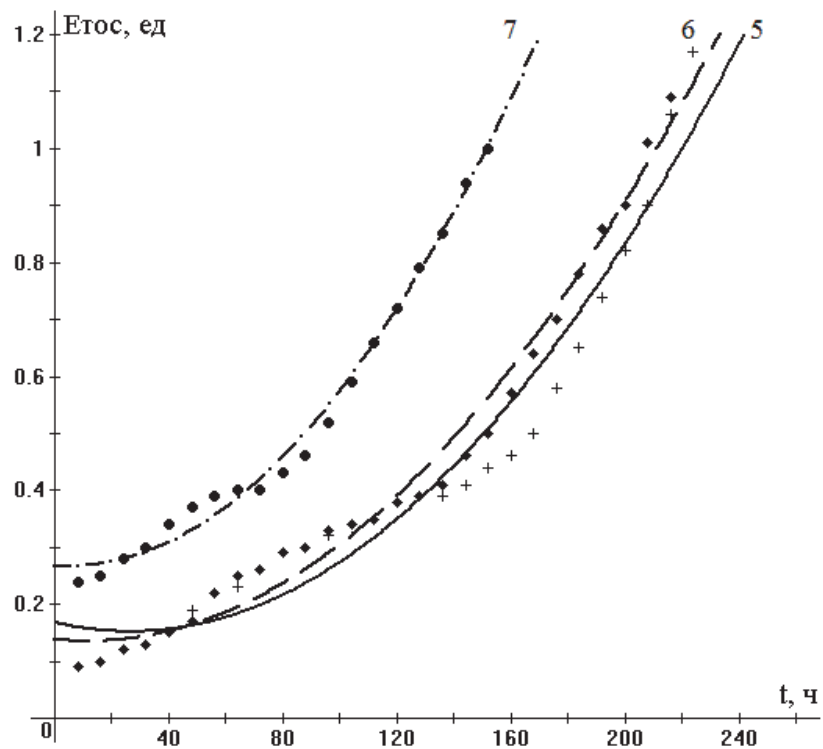
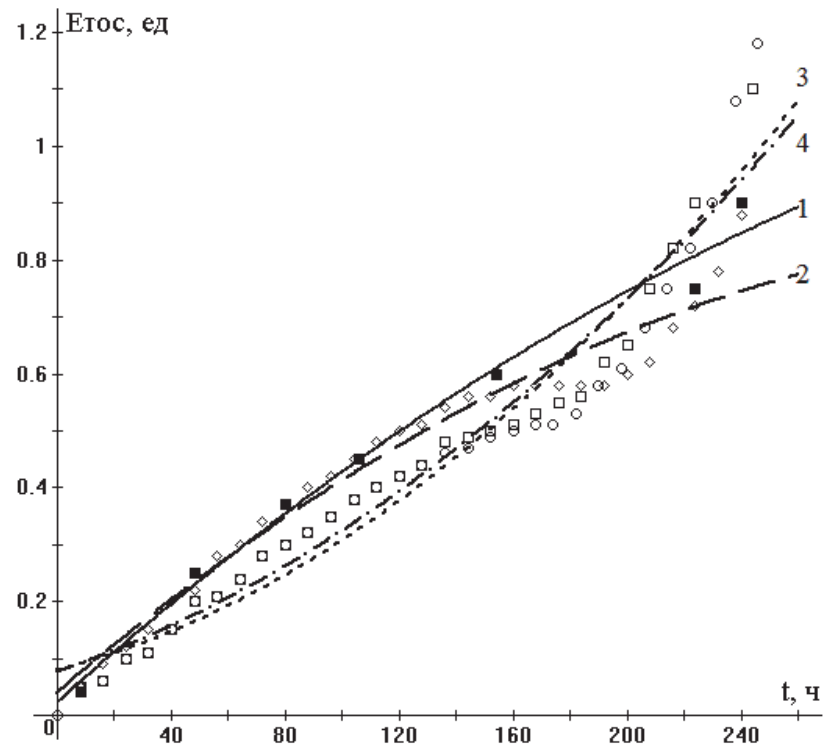


Рисунок 3.19. Зависимости коэффициента температурной стойкости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–7) синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF при температурах термостатирования: 2 – 160 °C; 3 – 180 °C; 4 – 200 °C; 5 – 220 °C; 6 – 240 °C; 7 – 260 °C

Установлена общая тенденция изменения противоизносных свойств от времени испытания. Из рисунка 3.20 следует, что при оценке противоизносных свойств установлено, что в области первичных продуктов деструкции улучшение противоизносных свойств происходит интенсивно, диапазон показателя износа в усредненном значении составляет от 0,59 до 0,27 мм. При переходе от первичных продуктов деструкции во вторичные интенсивность изменения противоизносных свойств замедляется и усредненные значения диапазона составляют уже от 0,37 до 0,23 мм.

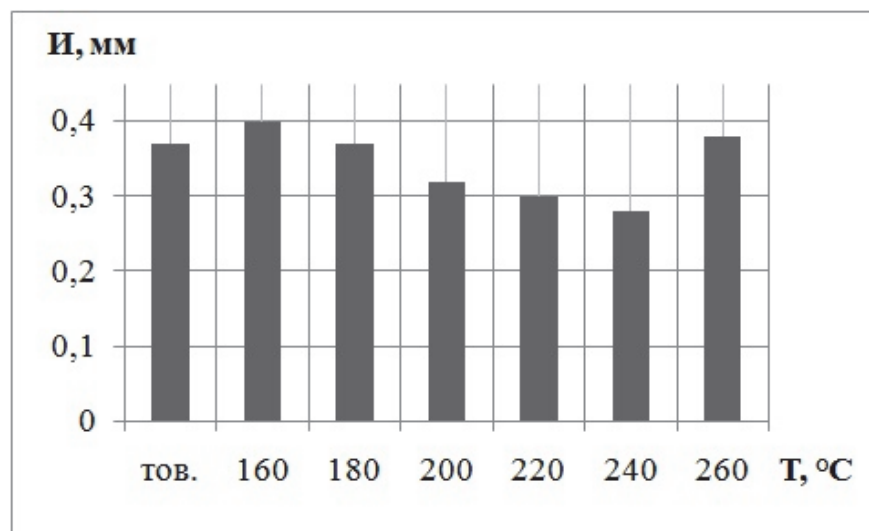


Рисунок 3.20 – Гистограмма изменения значения показателя износа товарного и окисленного моторного масла после предварительного термостатирования синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF.

Зависимости критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока представлены на рисунке 3.21.

Анализ приведенных регрессионных уравнений (таблица 3.12) позволяет сделать вывод о влиянии температуры предварительного термостатирования масла на противоизносные свойства и скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте, т. е. чем больше значение критерия противоизносных свойств, тем выше противоизносные свойства масла.

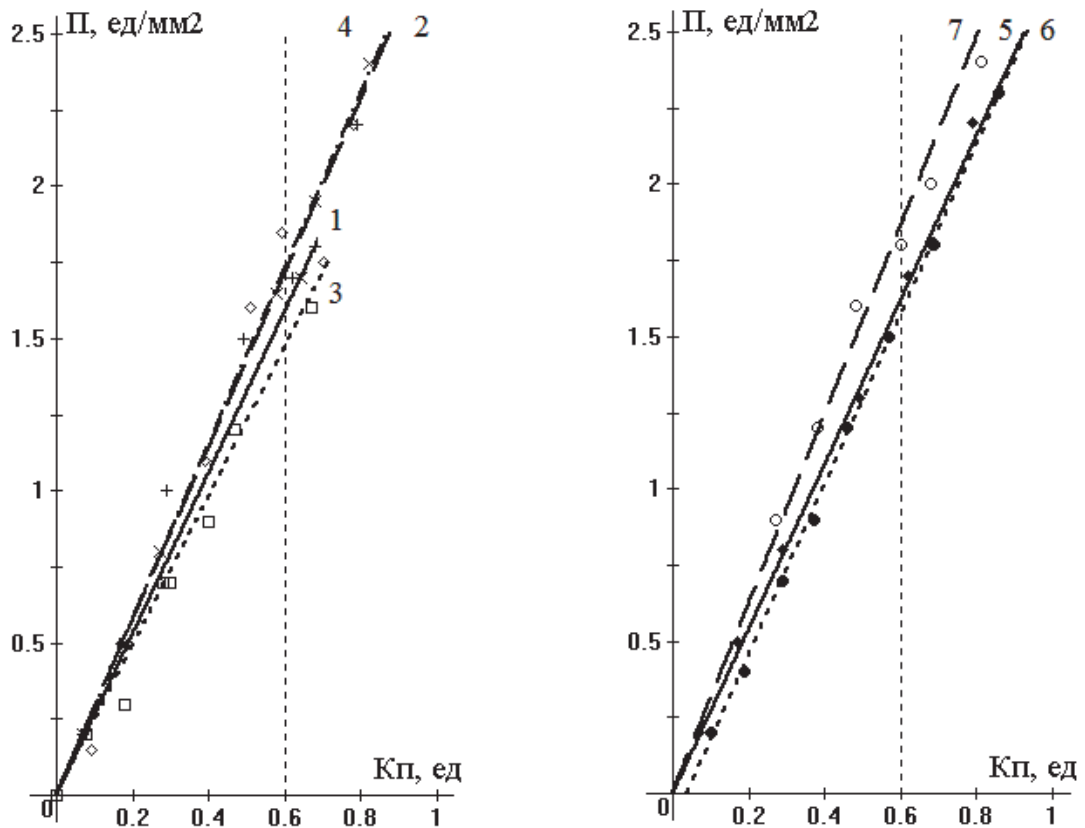


Рисунок 3.21 – Зависимости критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока товарного (1) и термостатированного (2–7) синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF при температурах термостатирования: 2 – 160 °С; 3 – 180 °С; 4 – 200 °С; 5 – 220 °С; 6 – 240 °С; 7 – 260 °С

Таблица 3.12 – Регрессионные уравнения зависимостей (рисунок 3.21)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$\Pi = 2,95 K_{\Pi}$
160 °С	$\Pi = 3,54 K_{\Pi}$
180 °С	$\Pi = 3,98 K_{\Pi}$
200 °С	$\Pi = 4,07 K_{\Pi}$
220 °С	$\Pi = 4,32 K_{\Pi}$
240 °С	$\Pi = 5,25 K_{\Pi}$
260 °С	$\Pi = 4,70 K_{\Pi}$

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9958 до 0,9984.

На рисунке 3.22 представлены зависимости коэффициента влияния предварительного термостатирования масел от температуры термостатирования.



Рисунок 3.22 – Зависимость коэффициента влияния предварительного термостатирования синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF от температуры термостатирования

Установлено, что при температуре предварительного термостатирования 240 °С критерий противозносных свойств выше критерия, полученного у товарного масла на 78 %, следовательно, при такой температуре термостатирования противозносные свойства лучше, чем при остальных температурах предварительного термостатирования, у синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF.

Выводы по третьей главе

1. Исследован процесс термоокислительной деструкции минерального, частично-синтетического и синтетического моторных масел, который характеризуется возникновением первичных и вторичных продуктов деструкции с разными оп-

тическими показателями. Установлены: начальная температура возникновения первичных и вторичных продуктов деструкции; работоспособная температурная область; температуры характеризующие предельные показатели изменения вязкости при испытании масел; показатели температурной стойкости и противоизносных свойств, а также влияние на эти процессы предварительного термостатирования масла [110];

2. Установлено влияние температуры предварительного термостатирования масла на критерий противоизносных свойства и скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте.

3. Предложен коэффициент для оценки влияния предварительного термостатирования на противоизносные свойства моторных масел, позволяющий определить температуру предварительного термостатирования при которой наблюдается улучшение противоизносных свойств относительно товарного масла.

4. Установлено, что при температуре предварительного термостатирования:
– 260 °С для минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC критерий противоизносных свойств выше критерия, полученного у товарного масла на 74 %;

– 240 °С для частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD критерий противоизносных свойств выше критерия, полученного у товарного масла, на 71 %;

– 240 °С для синтетического моторного масла масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF критерий противоизносных свойств выше критерия, полученного у товарного масла на 67 %.

Следовательно, при такой температуре термостатирования противоизносные свойства лучше, чем при остальных температурах предварительного термостатирования.

4 ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТЕРМО-СТАТИРОВАНИЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

4.1 Технология контроля влияния предварительного термостатирования на эксплуатационные свойства

Эксплуатация двигателя внутреннего сгорания при различных режимах эксплуатации отрицательно влияет на моторное масло подвергая его ускоренному старению, понижению количества присадок, в следствие чего уменьшается время работоспособности смазочного материала.

Низкий уровень работоспособности снижает стойкость масла процессам деградации, резко возрастают критические пределы вязкости за счет образования нерастворимой взвеси из продуктов деградации.

Использование такого масла приводит к скорейшему выводу из работоспособного состояния трибосистемы в которой используется данное масло.

Согласно предлагаемой технологии определяется температура предварительного термостатирования, при которой увеличивается ресурс и улучшаются эксплуатационные свойства, а также создание новой технологии по подготовке масла перед работой в трибосистемах.

Для реализации данной технологии применялись следующие средства контроля и испытания: прибор для испытания на температурную стойкость; прибор для определения вязкости; фотометрическое устройство; электронные весы; устройство для испытания трущихся материалов; оптический микроскоп.

Метод контроля предусматривал два этапа исследования. На первом этапе проба масла постоянной массы ($100 \pm 0,1$ г) термостатировалась в течение 8 ч в температурном диапазоне от 160 до 300 °С с интервалом 20 °С изолированных от попадания воздуха при давлении равном атмосферному с концентрацией паров и отводом конденсата. При каждой температуре исследовалась новая проба то-

варного масла. После каждой температуры испытания определялись коэффициенты поглощения светового потока, кинематическая вязкость при 100 °С, масса испарившегося масла после термостатирования, противоизносные свойства и показатель температурной стойкости.

Термостатированные масла при каждой температуре использовались для определения их термоокислительной стабильности.

Определения коэффициента поглощения светового потока K_{Π} оценивалось по формуле (2.3)

Показатель температурной стойкости $E_{\text{тос}}$ и коэффициент летучести K_g определяется по формулам (2.4, 2.5) соответственно.

Второй этап исследования предусматривал после каждой температуры термостатирования пробу масла взвешивать и вычислять количество испарившегося масла, отбирать пробы для исследования на фотометрическом устройстве для определения коэффициента оптических показаний, измерение вязкости при 100 °С и дополнительно отбирать пробу для испытания на установке для исследования трущихся материалов, и определения противоизносных свойств. По полученным показателям температурной стойкости проводилась оценка воздействия образующихся продуктов в исследуемом масле под влиянием температуры на противоизносные свойства и на показатели температурной стойкости.

Испытания проводили до достижения критических показателей коэффициента поглощения светового потока, равных 0,7–0,8 ед.

Для оценки влияния температуры предварительного термостатирования на противоизносные свойства смазочных масел предложен коэффициент влияния предварительного термостатирования, определяемый согласно формуле (3.9).

Используя в комплексе эти показатели позволяет определять группы эксплуатационных свойств и применять их для повышения информативности существующей классификации по группам эксплуатационных свойств, а также создания новой технологии по подготовке масла перед его работой в трибосистемах.

4.2 Технология контроля влияния продуктов деструкции на противоионные свойства

Метод предназначен для определения влияния предварительного термостатирования исследуемых масел на процессы окисления и триботехнические характеристики. Перед исследованиями термоокислительной стабильности термостатированных масел в диапазоне температур от 160 до 300 °С проводились испытания товарного масла по коэффициенту поглощения светового потока, кинематической вязкости, испаряемости, коэффициенту термоокислительной стабильности $E_{\text{тоc}}$ при температуре 180 °С.

Термоокислительная стабильность предварительно термостатированных масел оценивались с помощью следующих средств контроля и испытания: прибора для определения термоокислительной стабильности, прибора для определения вязкости, фотометрического устройства, электронных весов, установки для исследования трущихся материалов, оптического микроскопа «Альтами МЕТ 1».

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе проба предварительно термостатированного масла установленной массой $100 \pm 0,1$ г подвергалась испытаниям на приборе для определения термоокислительной стабильности с экспериментально выбранной частотой вращения 300 об/мин. Время проведения испытания составило 8 часов при автоматически поддерживаемой температуре 180 °С. Испытания проводили до достижения критических показателей коэффициента поглощения светового потока, равных 0,7–0,8. Спустя каждые 8 часов испытания проба окисленного масла взвешивалась, определяли летучесть масла, отбиралась часть пробы для исследования на фотометрическом устройстве далее по показаниям прибора и формуле (2.3) вычислялся коэффициент поглощения светового потока, другая же часть пробы отбиралась для определения вязкости при 100 °С. По полученным данным определяли показатель термоокислительной стабильности $E_{\text{тоc}}$ по формуле (2.6).

Данные исследования позволили оценить влияние продуктов температурной деструкции на процессы окисления, изменение вязкости, испаряемости.

Второй этап исследования заключался в определении противоизносных свойств окисленных предварительно термостатированных масел. Исследования проводили по вышеописанной технологии с отбором пробы (20 г) окисленного масла согласно показаниям коэффициента поглощения светового потока значений равных 0,1; 0,2–0,7 для испытания на трехшариковой машине трения и прямого фотометрирования для определения коэффициента поглощения светового потока, а пробу масла в стеклянном стакане доливалась термостатированным маслом до массы $100 \pm 0,1$ г.

По полученным данным первого и второго этапов испытания термостатированных масел в диапазоне температур от 160 до 300 °С строили графические зависимости, по которым определяли воздействие образующихся продуктов при предварительном термостатировании на процессы окисления, кинематическую вязкость, испаряемость, коэффициент термоокислительной стабильности и противоизносные свойства, и производили поиск критериев оценки влияния продуктов температурной деструкции на показатели термоокислительной стабильности и противоизносные свойства предварительно термостатированных масел.

Схема комплексного метода контроля показателей температурной стойкости термоокислительной стабильности и триботехнических характеристик моторных масел представлена на рисунке 4.1.

Согласно представленной схеме комплексная методика исследования моторных масел включает три этапа. На первом этапе осуществляется контроль товарного масла и коэффициента поглощения светового потока, кинематической вязкости и триботехнической характеристики. На втором этапе проводят исследования по определению температурной стойкости исследуемого моторного масла, оцениваемой по коэффициенту поглощения светового потока, кинематической вязкости, испаряемости и триботехническим характеристикам. Испытания проводят в температурном интервале от 160 до 300 °С.

Третий этап исследования предусматривает испытания на термоокислительную стабильность предварительно термостатированных масел, что позволяет

оценить влияние образующихся продуктов при предварительных испытаниях на температурную стойкость относительно процессов окисления и триботехнических характеристик окисленных предварительно термостатированных масел в температурном интервале от 160 до 300 °С. Термоокислительная стабильность предварительно термостатированных масел оценивалась по коэффициенту поглощения светового потока, кинематической вязкости, испаряемости и триботехническим характеристикам.

Такая ситуация требует разработки настоящих рекомендаций на основании проведенных исследований, отраженных в главе 3, которые включают в себя определение и использование основных показателей для присвоения смазочным материалам соответствующих для них классов вязкости и группы эксплуатационных свойств. Предлагается использовать такие показатели как: интенсивность процесса деструкции, область работоспособности при воздействии критических температур, температура начала деструкции присадок и базовой основы, температура при которой происходит процесс начала испарения, интенсивность процесса испарения, предельная температура для которой характерно повышение вязкости более чем на 40 %, критерий температурной стойкости и противоизносных свойств, критерий предварительного термостатирования, которые дают возможность повысить информативность существующей системы классификации масел.

Классификация моторных масел приведенная в ГОСТ 17479.1–85 [112] выделяет классы по показателю вязкости и группы по назначению и эксплуатационным свойствам смазочных масел. В настоящее время на рынке представлены как отечественные, так и зарубежные моторные масла подлежащие использованию [102]. Описание отечественной классификации моторных масел с учетом изменения № 3 к ГОСТ 17479.1–85 приведено ниже. Данный ГОСТ подразумевает увеличение числа классов по вязкости и изменен температурный диапазон использования смазочного материала, добавлены новые группы по назначению и эксплуатационным свойствам.

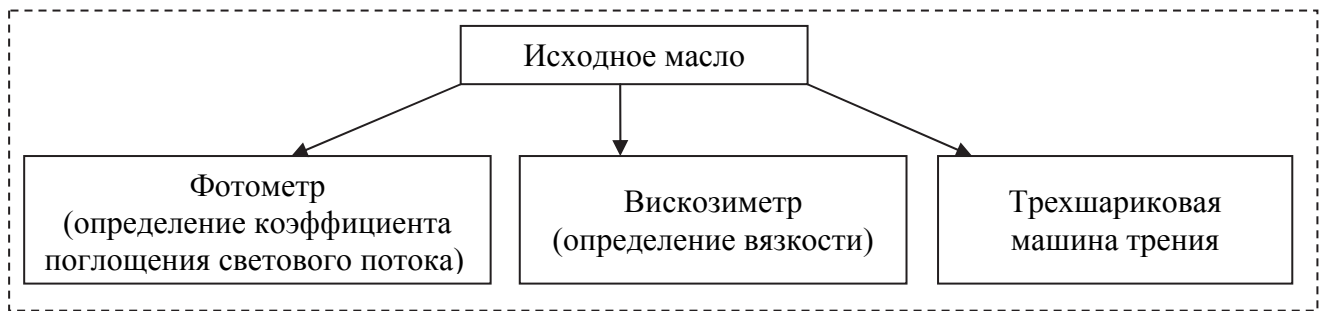
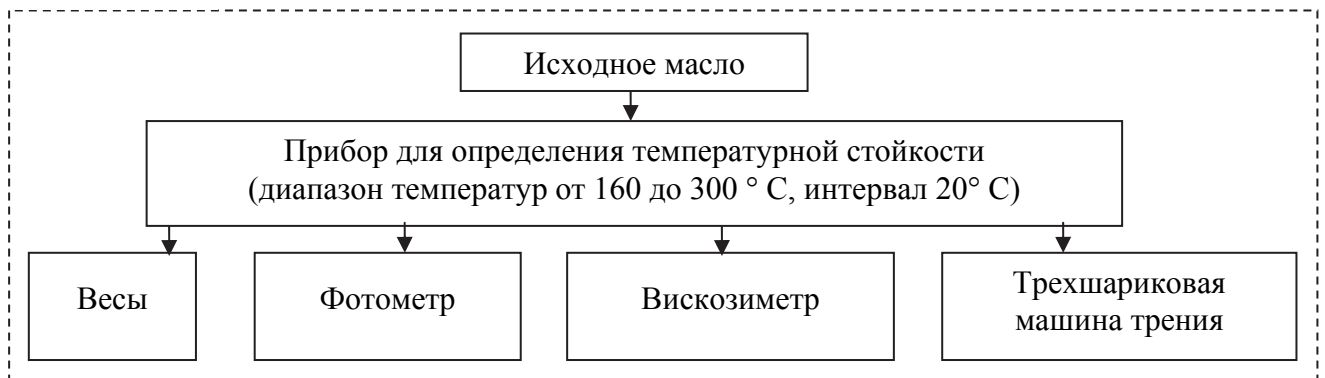
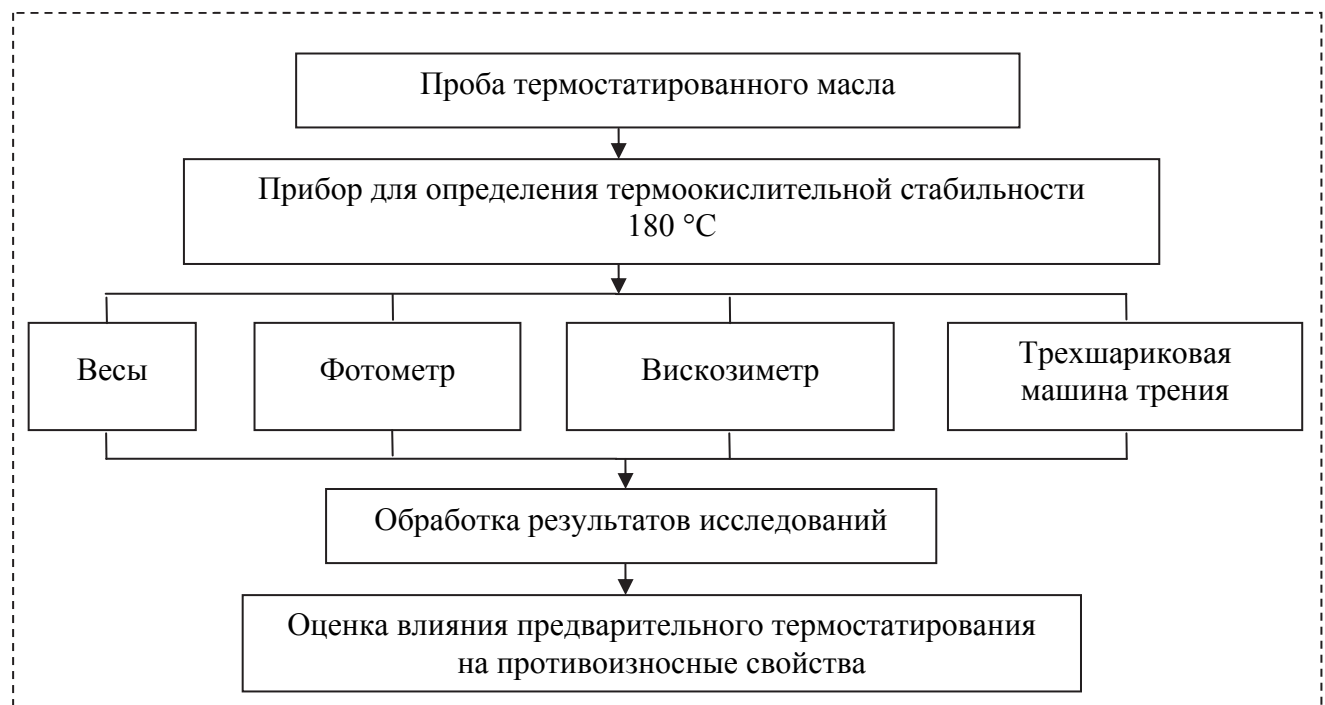
I этап**II этап****III этап**

Рисунок 4.1 – Схема комплексного метода контроля показателей температурной стойкости, термоокислительной стабильности и триботехнических характеристик моторных масел

ГОСТ предусматривает обозначение моторных масел, которое дает самую основную информацию о свойствах и их области применения. Марка начинается из буквы М, что соответственно дает понять, что масло «моторное», цифры или дроби, указывают на класс или классы вязкости (характерно для всесезонных масел), одной или двух из первых шести букв алфавита, обозначающие группу эксплуатационных свойств и область применения того или иного типа масла. Обозначения буквой без индекса или двумя буквами с разными индексами соответствуют универсальным маслам. Индекс 1 соответствует маслам для бензиновых двигателей, а индекс 2 – для дизельных двигателей.

Классы вязкости моторных масел, описанные в ГОСТ, отображены в таблице 4.2. а группы по назначению и эксплуатационным свойствам – в таблице 4.3. Таким образом, маркировка М-6₃/10В дает информацию потребителю о том, что это моторное всесезонное масло, универсальное и пригодное для использования в дизельных и бензиновых двигателях (группа В). Существует и маркировка как 14Г₂(цс), цифра указывает на класс вязкости моторного масла 14, применимое только для высокофорсированных дизелей без наддува. В данной маркировке присутствует после основного обозначения информация в скобках, которая указывает на дополнительную информацию об области применения (цс), т. е. циркуляционное судовое.

Таблица 4.2 – Классы вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1–85

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре	
	100 °С	–18 °С, не более
3 ₃	3,8	1 250
4 ₃	4,1	2 600
5 ₃	5,6	600
6 ₃	5,6	10 400
6 ₃	5,6–7,0 (включительно)	–
8	7,0–9,3	–
10	9,3–11,5	–
12	11,5–12,5	–
14	12,5–14,5	–
16	14,5–16,3	–

Окончание таблицы 4.2

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре	
	100 °С	–18 °С, не более
20	16,3–21,9	–
24	21,9–26,1	–
3 ₃ /8	7,0–9,3	1 250
4 ₃ /6	5,6–7,0	2 600
4 ₃ /8	7,0–9,3	2 600
4 ₃ /10	9,3–11,5	2 600
5 ₃ /10	9,3–11,5	6 000
5 ₃ /12	11,5–12,5	6 000
5 ₃ /14	12,5–14,5	6 000
6 ₃ /10	9,3–11,5	10 400
6 ₃ /14	12,5–14,5	10 400
6 ₃ /16	14,5–16,3	10 400

Таблица 4.3 – Группы моторных масел по эксплуатационным свойствам и назначению по ГОСТ 17479.1–85

Группа масла по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемая область применения
А		Нефорсированные бензиновые двигатели и дизели
Б	Б ₁	Малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют образованию высокотемпературных отложений всех видов
	Б ₂	Малофорсированные дизели
В	В ₁	Среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют окислению масла и образованию отложений всех видов
	В ₂	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным, противоизносным свойствам масел и способности предотвращать образование высокотемпературных отложений
Г	Г ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла и образованию отложений всех видов и коррозии
	Г ₂	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений

Окончание таблицы 4.3

Группа масла по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемая область применения
Д	Д ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел группы Г
	Д ₂	Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях или когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными свойствами, малой склонностью к образованию всех видов отложений
Е	Е ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели и дизели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел группы Д ₁ и Д ₂ . Отличаются повышенной диспергирующей способностью, лучшими противоизносными свойствами
	Е ₂	

Довольно часто возникает вопрос о возможной взаимозаменяемости отечественного и зарубежного моторного масла, например, возможно ли подобрать масло отечественного производителя для импортного механизма или же, наоборот, зарубежное масло для отечественной техники поставляемой на экспорт [102]. Международный масштаб предусматривает использование общепринятой классификацией по показателю вязкости моторных масел, которой стала классификация Американского общества автомобильных инженеров – SAEJ300. Эксплуатационные свойства и область использования зарубежных моторных масел в большинстве случаев указывают по классификации API (Американский институт нефти). Однако ГОСТ 17479.1–85 дает только примерное соотношение отечественных классов вязкости и групп эксплуатационных свойств классам вязкости по SAE и API в зарубежных справочных приложениях. Следует понимать, что это только примерное соотношение отечественных и импортных марок, а не их полная идентичность. Данные таблиц 4.4 и 4.5 дают возможность подобрать зарубежный аналог соответствующий отечественному маслу, сопоставляя характеристики и стандартную марку отечественного масла или, наоборот, зная характеристики зарубежного масла и марку по классификациям SAE и API, для подбора наиболее близкого аналога отечественного масла.

Таблица 4.4 – Соответствие классов вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1–85 и классификации API

Класс вязкости			
ГОСТ 17479.1–85	API	ГОСТ 17479.1–85	API
33	5W	24	60
43	10W	33/8	5W
53	15W	43/6	10W
63	20W	43/8	10W
63	20	43/10	10W
8	20	53/10	15W
10	30	53/12	15W
12	30	63/10	20W
14	40	63/14	20W
16	40	63/16	20W
20	50		

Таблица 4.5 – Соответствие групп эксплуатационных свойств моторных масел по ГОСТ 17479.1–85 и классификации SAE

Класс вязкости			
ГОСТ 17479.1–85	по SAE	ГОСТ 17479.1–85	по SAE
A	SB	Г2	CC
Б	SC/CA	Д1	SF
Б1	SC	Д2	CD
Б2	CA	Е1	CG
В	SD/CB	Е2	CF-4
В1	SD	–	SH
В2	CB	–	SJ
Г	SE/CC	–	CG-4
Г1	SE		

Классы вязкости SAE довольно часто имеют расширенные диапазоны предельных значений по показателю кинематической вязкости при 100 °С, в сравнении с классами вязкости по ГОСТ 17479.1–85. Из-за этого одному классу SAE порой приходится два смежных класса по ГОСТ 17479.1–85. В таком случае для получения большей информативности необходимо указать аналог, имеющий

ближайшее фактическое значение показателя вязкости по документации соответствующей данной продукции.

Классификация API делит масла на две категории: S – service, используемые для бензиновых двигателей, и C – Commercial, для дизельных двигателей. Универсальным маслам присваивают класс двух категорий. Классы в категориях обозначают буквами латинского алфавита, следующими после буквы, характеризующей категорию, например, SF, SH, CC, CD или SF/CC, CG/CD, CF-4/SH для универсальных масел.

Моторные масла, которые имеют отношение к одному и тому же классу API, но разных производителей, могут сильно отличаться составом базовой основы масла, типом используемых в нем присадок и, как следствие, иметь достаточно специфические свойства, удовлетворяющие узким требованиям, быть ближе к предельным показателям или иметь запас качества. Выбор аналогичного масла по области применения и эксплуатационным свойствам [102] предусматривает брать во внимание все заявленные специальные требования к моторному маслу со стороны производителя используемой техники.

Согласно классификациям присутствующим в ГОСТ 17479.1–85 и API группу относительно уровня эксплуатационных свойств присваивают руководствуясь результатами специальных испытаний моторных масел в специальных установках и полноразмерных двигателях. Проведение испытания происходит на стендовых установках по стандартным методам. Высокий показатель присваиваемой исследуемому маслу группы эксплуатационных свойств, характеризует проходную оценку результатов испытаний, как более строгую, а условия проведения этих испытаний более жесткие. Контроль стабильности качества серийных моторных масел достигается проведением их классификационных испытаний, повторение которых не реже одного раза в два года, что соответствует установленным требованиям ГОСТ 17479.1–85. При классификационных испытаниях так же определяют противоизносные, моющие, антикоррозионные, диспергирующие и антиокислительные свойства моторных масел, а также их соответствие указанному классу кинематической вязкости.

Частый вопрос потребителей: «Какие противоизносные свойства смазочного материала?», «При каком пробеге противоизносные свойства понижаются, и двигатель нуждается в незамедлительной замене масла?». Ответы на поставленные вопросы позволяет дать метод, используемый в настоящей работе. Используя специально разработанную приборную базу и строгая последовательность действий при испытаниях масла различного назначения, классов вязкости и групп эксплуатационных свойств, возможно создать новый банк данных, который дает возможность более точно осуществлять подбор масла к различным двигателям, дать больше информации о масле. В качестве примера в таблице 4.6 приведены результаты анализа различных показателей, определяемых в настоящей работе, для исследованных моторных масел. Данные результаты дают возможность идентифицировать соответствие масел определенной группе эксплуатационных свойств. Так, для испытанных масел группа эксплуатационных свойств и класс вязкости для MobilSuper 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF завышены, Лукойл Супер 10W-40 SF/CC – занижены, Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC – соответствуют.

Таблица 4.6 – Результаты испытаний минеральных моторных масел

Показатель	Ед. измерения	MobilSuper 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF	Лукойл Супер 10W-40 SF/CC	Лукойл Стандарт 10W-40 SF-CC
Интенсивность процесса деструкции $V_{кл}$	ед/ч	0,017	0,013	0,016
Температурная область работоспособности	°C	213	210	207
Температура начала деструкции	°C	129	140	133
Температура начала испарения	°C	180	140	140
Интенсивность процесса испарения V_G	г/ч	0,788	0,476	0,385
Предельная температура для вязкости (увелич. на 40%)	°C	291	273	220
Критерий температурной стойкости $E_{тс}$	ед.	1,39	1,91	1,36

Окончание таблицы 4.6

Показатель	Ед. измерения	MobilSuper 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF	Лукойл Супер 10W-40 SF/CC	Лукойл Стандарт 10W-40 SF-CC
Критерий противоизносных свойств П	ед.	2,56	1,64	3,71
Скорость изменения критерия противоизносных свойств V_1	ед/ч	2,624	1,497	2,636

Эти данные позволяют уточнить и упростить процедуру выбора смазочных материалов для конструкторов и технологов, проектирующих новые машины и агрегаты.

Выводы по четвертой главе

Разработаны практические рекомендации по применению предварительного термостатирования моторных масел с целью повышения противоизносных свойств с обоснованием температуры термостатирования в зависимости от базовой основы.

Основные научные результаты и выводы:

1. Разработан метод контроля влияния предварительного термостатирования на эксплуатационные свойства моторных масел с применением средств контроля и измерения. Метод позволяет обосновать повышение эксплуатационных свойств за счет предварительного термостатирования.

2. Исследовано влияние температуры в диапазоне от 160 до 300 °С на процессы температурной деструкции, триботехнические характеристики моторных масел различной базовой основы и термостатированных масел на показатели термоокислительной стабильности и триботехнические характеристики окисленных масел. Обоснованы критерии триботехнических свойств.

3. Предложен критерий подбора оптимальной температуры предварительного термостатирования и оценки ее влияния на противоизносные свойства, ха-

рактизирующийся скоростью изменения условной концентрации продуктов деструкции предварительно термостатированного смазочного масла на параметр деструкции товарного масла.

4. Обоснована оптимальная температура предварительного термостатирования моторных масел различной базовой основы, повышающая противоизносные свойства и произведена их количественная оценка.

5. Разработаны практические рекомендации по применению предварительного термостатирования моторных масел с целью повышения противоизносных свойств с обоснованием температуры термостатирования в зависимости от базовой основы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применения: справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадычова, С.А. Бачив [и др.]; под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: издат. центр «Техинформ», 1999 – 596 с.
2. ГОСТ 11063–77. Масла моторные с присадками. Метод определения стабильности по индукционному периоду осадкообразования.
3. ГОСТ 20457–75. Масла моторные, метод оценки антиокислительных свойств на установке ИКМ.
4. Розенберг, Ю.А. Эксплуатационные свойства смазочных материалов и их оценка / Ю.А. Розенберг // Вестник машиностроения. – 1975. – № 8. – С. 42–49.
5. Венцель, С.В. Смазка двигателей внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: Машгиз, 1963. – 1980 с.
6. Венцель, С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель – М.: Химия, 1979. – 238 с.
7. Венцель, С.В. Контактные процессы, протекающие на смазочных поверхностях трения / С.В. Венцель, Е.А. Миронов // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – № 1. – С. 100–107.
8. Матвеевский, Р.М. Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов / Р.М. Матвеевский. – М.: Наука, 1971. – 227с.
9. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396с.
10. Костецкий, Б.И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания / Б.И. Костецкий // Трение и износ. – 1980. – Т. 1. – № 4. – С. 622–634.
11. Меньшов, П.А. Об определении цвета нефтепродуктов / П.А. Меньшов, В.С. Иванов, В.Н. Логинов // Химия и технология топлив и масел. – 1981. – № 4. – С. 45–48.

12. Гольберг, Д.О. Контроль производства масел и парафинов / Д.О. Гольберг. – М.: Химия, 1964. – 245 с.
13. Ковальский, Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский. – Новосибирск: Наука. 2005. – 341 с.
14. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных материалов по параметрам термоокислительной стабильности и температурной стойкости: монография / Ю.Н. Безбородов, Б.И. Ковальский Н.Н. Малышева [и др.]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011 – 366 с.
15. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных масел: монография / О.Н. Петров, В.Г. Шрам, М.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 154 с.
16. Патент № 2451293 РФ. МПК G01№ 33/30. Способ определения работоспособности смазочных масел / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, А.В. Юдин, М.М. Рунда; опубл. 20.05.12. Бюл. № 14.
17. Ковальский, Б.И. Оптический метод контроля термоокислительной стабильности трансмиссионных масел / Б.И. Ковальский, В.С. Янович, О.Н. Петров // Известия ТулГУ. Технические науки, ВМП. II. – Тула: 43д. – 80 ТулГУ, 2013. – С. 302–311
18. Большаков, Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков. – Л.: Недра, 1974. – 318 с.
19. Коваленко, В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел / В.П. Коваленко. – М.: Химия, 1987. – 304 с.
20. Fhoenes, H.W. Evfahrungen mit der Vickers – Emgelse – uenpumpe / H.W. Fhoenes, K. Baner, P. Herman// schiertechnik Tribologie. – 1978 – №4, August. S9.
21. Лопятко, О.П. Методика оценки противоизносных свойств рабочих жидкостей объемных гидроприводов машин / В.Б. Лопятко, В.Б. Арсенов. – Минск: Ин-т проблем надежности и долговечности машин А.Н. БССР, 1975. – 47 с.
22. Венцель, С.В. Исследование противоизносных свойств масел серия ИГП с памятью пластичных насосов / С.В. Венцель, Г.Ф. Ливода [и др.] // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – № 6. – С. 1031–1035.

23. А.С. 983522 (СССР) G01№ 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б.И. Ковальский, М.Е. Грибанов; опубл. 23.12.82. Бюл. № 47

24. А.С. 1670520 СССР G01№ 3/56 Устройство для испытания материалов в присутствии масел на трение и износ / Б.И. Ковальский, В.И. Тихонов, Л.Н. Дервягина; опубл. 15.08.91. Бюл. № 30.

25. Патент 2428677 РФ МПК G01№ 19/02 Устройство испытания трущихся материалов и масел / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, О.Н. Петров, В.И. Тихонов; опубл. 10.09.2011. Бюл. № 25

26. Бердников, А.И. Диссипативные, упругие и смазочные свойства рабочих жидкостей систем гидроприводов / А.И. Бердников, Д.Г. Громановский [и др.] // Трение и износ. – 1983. – Т. 4. – № 3. – С. 476–482.

27. Манусаров, Ю.С. Изменение поглощения ультразвуковых волн в жидкостях на частотах 50 ИГц – 4 МГц / Ю.С. Манусаров, И.Г. Михайлов // Акустический журнал. – Вып. 2. – 1974. – Т. 90. – С. 286–296.

28. Тречмен, И.Г. Кратковременные вязкостные свойства смазки в зоне герцовского давления / И.Г. Тречмен // Журнал. амер. об-ва инженеров-механиков. Сер. Проблемы трения и смазки. – 1975. – № 3. – С. 160–167.

29. Кеннел, И.В. Реология смазки в реальных подшипниках / И.В. Кеннел, С.С. Бупара // Журн. Амер. Об-ва инженеров-механиков. Сер. Проблемы трения и смазки. – 1975. – № 2. – С. 93–102.

30. Кравец, И.А. Оценка процесса изнашивания деталей по электрической проводимости пары трения / И.А. Кравец, Н.Н. Кривенко // Проблемы трения и изнашивания: науч-техн. сб. – Киев: Техника, 1980. – Вып. 17. – С. 28–31.

31. А.с. 796732 (СССР) Способ автоматического контроля технического состояния двигателя / В.И. Ямпольский, С.В. Бюхин. – 1981. Бюл. № 2.

32. А.с. 172528 (СССР) Способ непрерывного контроля работы пар трения, разделенных слоем проводящий электрический ток смазки / Б.И. Костецкий, Б.М. Барбалот. – 1965. – Бюл. № 16.

33. А.с. 578594 (СССР) Способ контроля интенсивности износа пар трения / Н.Н. Теркель, И.И. Карасик и др. – 1977. Бюл. № 40.

34. А.с. 556370 (СССР) Способ исследования трения / А.С. Шампур, В.А. Федярецов. – 1977. Бюл. № 16
35. Кропачев, В.С. Трение и износ стали ШХ-15 в водно-органическом растворе / В.С. Кропачев, М.А. Толстая, И.А. Буяновский [и др.] // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – № 5. – С. 897–902.
36. Матвеевский, Р.М. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки / Р.М. Матвеевский, И.А. Буяновский, О.В. Лазовская. – М.: Наука. – 1978. – 198 с.
37. Матвеевский, Р.М. Исследование износостойкости пар трения, применяемых в приборах автомобильных стартеров / Р.М. Матвеевский, Г.А. Иоффе, И.А. Буяновский // Вести машиностроения. – 1975. – № 4. – С. 22–25.
38. Мышкин, Н.К. Определение температурной стойкости граничных слоев / Н.К. Мышкин, В.А. Кончиу // Трение и износ. – 1981. – Т. 11. – № 4. – С. 725–728.
39. Трейчер, М.И. Экономное и рациональное использование смазочных материалов / М.И. Трейчер. – ЛДНТИ, 1982. – 280 с.
40. Ковальский, Б.И. Разработка комплексного метода оценки работоспособности дизельных масел: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Б.И. Ковальский. – М., 1985.
41. Гарзанов, Е.Г. Техническая диагностика поршневых газоперекачивающих агрегатов по анализу отработанного масла / Е.Г. Гарзанов, В.А. Ильин [и др.] // Трение и износ. – 1982 – Т.3.–№ 2. – С. 284–289.
42. Соколов, А.И. Изменение качества масел и долговечность автомобильных двигателей / А.И. Соколов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1976. – 120 с.
43. Маркова, Л.В. Современные требования к контролю работоспособности масла дизельного ДВС / Л.В. Маркова, Н.К. Мышкин, Х. Конг [и др.] // Трение и износ. – 2002. – Т. 23. – № 4. – С. 425–435.
44. Скиндер, Н.И. Портативный комплекс средств для экспресс-диагностики работающего моторного масла / Н.И. Скиндер, Ю.А. Гурьянов // ХТТМ. – 2001 – Т. 1. – С. 38–40.

45. А.с. 113465 СССР, G01№ 33/30. Метод оценки термической стабильности смазочных масел / К.К. Палок.
46. А.с. 135692 СССР, G01№ 33/28. Способ определения стабильности растворов присадок к маслам / Ю.С. Засловский, Г.И. Шор, Е.В. Евстигнеев, Н.В. Дмитриева. – 1961. Бюл. № 3.
47. А.с. 527660 СССР, G01№ 33/30. Способ определения свойств моторного масла / А.В. Непогодьеv, В.Г. Колупаев. – 1976. Бюл. № 33
48. А.с. 205326 СССР, G01№ 33/30. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский Л.Н. Деревягина, И.А. Кириченко. – 1996. Бюл. № 9.
49. А.с. 1282002 СССР, G01С 33/28. Способ определения степени загрязненности работавшего моторного масла / Ю.Л. Шепельский, Л.А. Певзнер. – 1987. Бюл. № 1
50. ГОСТ 23175–78. Масла моторные. Метод оценки моторных свойств и определения термоокислительной стабильности.
51. ГОСТ 981–75. Масла нефтяные. Метод определения стабильности против окисления.
52. ГОСТ 20944–75. Жидкости для авиационных систем. Метод определения термоокислительной стабильности и коррозионной активности.
53. ГОСТ 18136–72. Масла. Метод определения стабильности против окисления в универсальном приборе.
54. ГОСТ 23797–79. Масла для авиационных газотурбинных двигателей. Метод определения термоокислительной стабильности в объеме масла.
55. Абдулин, М.И. Химия и технология топлив и масел / М.И. Абдулин, А.Р. Халимов, Г.Г. Ахметзянов, И.Ф. Лопатин. – 1998. – № 5. – С. 27.
56. Пат. № 2247971 РФ. МПК G 01 № 25/00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский, С.И. Васильев, Ю.Н. Безбородов, А.А. Бадьина; опубл. 10.03.2005. Бюл. № 7.
57. Пат. № 2318206 РФ. МПК G 01 N 25/00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский, В.С. Даниленко, Н.Н. Малышева, Ю.Н. Безбородов; опубл. 27.02.2008. Бюл. № 6.

58. Пат. № 2334976 РФ. МПК G 01 № 25/00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский, Н.Н. Малышева, А.А. Метелица, Ю.Н. Безбородов; опубл. 27.09.2008. Бюл. № 27.

59. Ковальский, Б.И. Результаты контроля термоокислительной стабильности трансмиссионных масел различной базовой основы / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, В.С. Янович, Н.Н. Малышева, А.В. Юдин // Контроль. Диагностика. № 4 (190), 2014. С. 74-76.

60. Ковальский, Б.И. Результаты испытания частично-синтетических моторных масел на термоокислительную стабильность / Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, В.Г. Шрам, В.С. Янович // Изв. ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – С. 42–50.

61. Ковальский, Б.И. Оптический метод контроля термоокислительной стабильности трансмиссионных масел / Б.И. Ковальский, В.С. Янович, О.Н. Петров // Изв. ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – С. 302–311.

62. А.с. № 1525576 СССР. МПК G 01 № 33/30. Способ определения термической стабильности смазочного масла / П.Ф. Григорьев, О.А. Лебедев, 1989. Бюл. № 44.

63. А.с. № 2240558 СССР. МПК G 01 № 33/30. Способ определения термической стабильности смазочного масла / Б.И. Ковальский, С.И. Васильев, С.Б. Ковальский; опубл. 20.11.2004. Бюл. № 32.

64. Пат. № 2406087 РФ. МПК G 01 № 25/00. Способ определения температурной стойкости смазочных масел / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Малышева, С.Б. Ковальский, А.В. Берко; опубл. 10.12.2010. Бюл. № 34.

65. Юдин, А.В. Метод контроля влияния процессов окисления и температурной деструкции на противоизносные свойства моторных масел: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А.В. Юдин. – Томск., 2014. – 21 с.

66. Петров, О.Н. Метод контроля влияния продуктов деструкции смазочных масел и электрического потенциала на противоизносные свойства: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / О.Н. Петров. – Томск, 2013. – 20 с.

67. Шрам, В.Г. Метод контроля влияния температуры и механической нагрузки на триботехнические свойства моторных масел: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В.Г. Шрам. – Томск., 2014. – 21 с.

68. Шрам, В.Г. Исследование влияния продуктов температурной деструкции и нагрузки на противоизносные свойства синтетического моторного масла Esso Citron 5W-40 / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, А.Н. Сокольников, И.В. Надейкин // Вестник Кузбасского гос. техн. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 71–78.

69. Ковальский, Б.И. Результаты испытания минерального трансмиссионного масла ТНК Транс 80W-85 GL 4 на температурную стойкость / Б.И. Ковальский, В.Г. Шрам, А.В. Юдин, М.М. Рунда // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2013. – № 8. – С. 11–13.

70. Шрам, В.Г. Влияние продуктов температурной деструкции и нагрузки на противоизносные свойства товарного и отработанного моторного масла М-8Г_{2К} / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, А.Н. Сокольников, И.В. Надейкин // Вестник Кузбасского государственного техн. ун-та. – 2013. – № 2. – С. 53–58.

71. Ковальский, Б.И. Исследование влияния продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства частично-синтетических моторных масел / Б.И. Ковальский, В.Г. Шрам, О.Н. Петров, Ю.Н. Безбородов // Технология нефти и газа. – М., 2013. – № 4 (87) – С. 27–32.

72. Ковальский, Б.И. Влияние продуктов температурной деструкции на процессы окисления и противоизносные свойства моторных масел различной базовой основы / Б.И. Ковальский, Н.Н. Малышева, Е.Г. Кравцова, А.А. Рябинин, М.С. Лысая // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2014. – № 8 (91). – С. 122–125.

73. Ковальский, Б.И. Результаты исследования сопротивляемости моторных масел температурной деструкции / Б.И. Ковальский, В.Г. Шрам, О.Н. Петров, Е.Г. Кравцова, Г.Н. Химич // Известия Тульского ГУ. – 2015. – Вып. 10. – С. 169–175.

74. Ковальский, Б.И. Метод контроля влияния процессов окисления и температурой деструкции на изменение индекса вязкости моторных масел / Б.И. Ко-

вальский, Е.Г. Красцова, Н.Н. Лысянникова, М.Н. Артемов // Извест. Тульского ГУ. – 2015. – Вып. 8. – Ч. 2. – С. 109–116.

75. Кончиц, В. В. Смазочные свойства органических отложений на поверхности трения при повышенной температуре / В. В. Кончиц, С. В. Коротневич, С.Д. Саутин // Трение и износ. – 2002. – № 2. – С. 170–175.

76. Studt, P. Boundary Lubrication: adsorption of oil additives on steel and ceramic surfaces and its influence on friction and wear // Tribology Int. – 1989 (22). – № 2. – P. 111–119.

77. А.с. № 1779756 РФ, МКИ³ F 01 № 9 / 02. Способ оценки ресурса моторного масла двигателей внутреннего сгорания / В.В. Чанкин, Т.К. Пугачева, Ю.Р. Шапунский и др. – 1992, Бюл. № 5.

78. Гущин, В.А. Восстановление эксплуатационных свойств моторных масел. Теоретические предпосылки / В.А. Гущин, В.В. Остриков, А.И. Гущина, В.В. Паутов // ХТТМ. – 1999. – № 1. – С. 24–25.

79. А.с. № 1460364 СССР МКИ³ F 01 № 9 / 02. Способ оценки качественного резерва картерного масла в двигателе внутреннего сгорания / В.В. Чанкин, Л.А. Морозова, Т.К. Пугачева, Ю.А. Шапунский. – 1989. Бюл. № 7.

80. А.с. № 145060 (СССР), МКИ³ G 01 № 33 / 30. Способ определения необходимости замены масла в дизелях / К.А. Павлов. – Бюл. № 4.

81. Пат. № 2222012 РФ, МКИ³ G 01 № 33 / 30. Способ работоспособности смазочных масел / Б.И. Ковальский, С.И. Васильев, Р.А. Ерашов, Е.Ю. Янаев, А.А.Бадьина. – 2004. Бюл. № 2.

82. Кондаков, Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем / Л.А. Кондаков. – М.: Машиностроение, 1982. – 216 с.

83. Аксенов, А.Ф. Применение авиационных технических жидкостей / А.Ф. Аксенов, А.А. Литвинов. – М.: Транспорт, 1974. – 156 с.

84. Нефтепродукты. Свойства, качество, применение: Справочник / под ред. Б.В. Лосикова. – М.: Химия, 1966. – 776 с.

85. Шишков, И.Н. Авиационные горючесмазочные материалы и специальные жидкости / И.Н. Шишков, В.Б. Белов. – М.: Транспорт, 1979. – 247 с.

86. Альтшулер, М.А. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Альтшулер. – М.: Химия, 1979. – С. 45–48.

87. Ковальский, Б.И. Методология контроля и диагностики смазочных материалов, как элементов систем приводов многокомпонентных машин / Б.И. Ковальский // Сб. науч. Труд. – 2005. – С. 412.

88. Ахматов, А.С. Граничный слой как квазитвердое тело / А.С. Ахматов. – М–Л.: Изд-во АН СССР, 1965. – Т. 3. – С. 144–154.

89. А.с. № 2057326 (СССР), МКИ³ G 01 № 25 / 02. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский, Л.Н. Деверягина, И.А. Кириченко; заявитель и патентообладатель Государственный проектный научно-исследовательский и конструкторский институт – №5046019/25; опубл. 1996. Бюл. № 9.

90. Пат. № 2057326 РФ, МКИ³ G 01 № 25 / 00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных масел / Б.И. Ковальский, С.И. Васильев, Р.А. Ерашов и др.; опубл. 2004. Бюл. № 35.

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

92. Коваленко, В.П. Загрязненность нефтяных масел при трансформировании и хранении и их очистка / В.П. Коваленко – М.: Изд-во УНИИТЭ нефте-хим., 1974. – С. 60.

93. Ковальский, Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский. – Новосибирск: Наука. – 2005. – С. 341.

94. Скиндер, Н.И. Портативный комплект средств / Н.И. Скиндер, Ю.А. Гурьянов // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – №1. – С. 38–41.

95. Ковальский, Б.И. Разработка комплексного метода оценки работоспособности дизельных масел: автореф. дисс. ... канд. тех. наук / Б.И. Ковальский. – М., 1985. – С. 24.

96. Пат. № 2428677 Рос. Федерация: МПК G 01 № 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов,

О.Н. Петров, В.И. Тихонов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2010119754/28; заявл. 17.05.2010; опубл. 10.09.2011. Бюл.№25.

97. Пат. № 2366945 Рос. Федерация: МПК G01№ 33/30. Способ определения температурной стойкости смазочных масел / Б. И. Ковальский, Н. Н. Малышева; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2008117201/04; заявл. 29.04.2008; опубл.10.09.2009. Бюл. № 25.

98. Пат. № 2057326 РФ, МКИ³ G 01 № 25 / 00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных масел / Б.И. Ковальский, С.И. Васильев, Р.А. Ерашов и др.; опубл. 2004, Бюл. № 35.

99. Алексеев, Р.И. Руководство по вычислению и обработке результатов количественного анализа / Р.И. Алексеев, Ю.И. Коровин. – М.: Атомиздат, 1972. – С. 72.

100. Безбородов, Ю. Н. Определение смазывающей способности моторных масел по параметру суммарной продолжительности деформаций / Ю. Н. Безбородов, О. Н. Петров, А. Н. Сокольников, В. Г. Шрам, А. А. Игнатьев // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск. – 2012. – № 8 (67). – С. 125–129.

101. Шрам, В.Г. Исследование термостойкости минеральных моторных масел. Ч. 1 / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, Ю.Н. Безбородов, А.Н. Сокольников // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 13. – С. 143–147.

102. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадышева, С.А. Бнатов [и др.]; под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Издат. центр «Техинформ», 1999. – 596 с.: ил.

103. Физическая энциклопедия / под. ред. А.М. Прохорова. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия». – 1992. – Т.3.

104. Шрам, В.Г. Исследование влияния продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства синтетических моторных масел / В.Г. Шрам,

Б.И. Ковальский, О.Н. Петров // Вестник КрасГАУ. Красноярск. – 2013. – № 1 (76). – С. 102–107.

105. Шрам, В.Г. Исследование влияния продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства гидравлического масла HLP-10 / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, Ю.Н. Безбородов, А.А. Игнатъев // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 13. – С. 137–140.

106. Шрам, В.Г. Влияние механической деструкции и продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства минеральных моторных масел. Ч. 2 / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, Ю.Н. Безбородов, А.Н. Сокольников // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 13. – С. 149–152.

107. Ковальский, Б.И. Исследование механохимических процессов моторных масел при граничном трении скольжения / Б.И. Ковальский, А.Н. Сокольников, О.Н. Петров, А.В. Кузьменко // Транстрибо. IV международный симпозиум по транспортной триботехнике: сб. тр. – СПб., 2010. – С. 86–91.

108. Пат. № 2454654 Рос. Федерация: МПК G 01 № 3/56, G 01 № 33/30. Способ определения качества смазочных масел / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Малышева, А.В. Кузьменко, М.М. Рунда, Е.Г. Мальцева; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2011107418/28; заявл. 25.02.2011; опубл. 27.06.2012. Бюл. № 18.

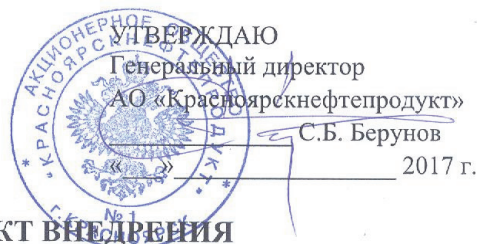
109. Рябинин, А.А. Влияние предварительного термостатирования на оптические свойства частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10w – 40 SG/CD / Журнал «Вестник Кузбасского государственного технического университета». – 2016 – № 6. – С. 83.

110. Шрам, В.Г. Исследования влияния продуктов температурной деструкции и нагрузки на противоизносные свойства моторных масел различных базовых основ / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, А.Н. Сокольников // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – Иркутск, 2013. – №2 (73). – С. 125–131.

111. Мышкин, Н.К. Трибология в работах В.А Белого / Н.К. Мышкин, М.И. Петрокобец, Ю.М. Плескачевский [и др.] // Трение и износ. – 2002. – Т. 23. – № 3. – С. 230–235.

112. ГОСТ 17479.1–85. Масла моторные. Классификация и обозначение. Издательство стандартов № 1986 Стандартиформ № 2006. Разработан ВНИТИ. Утверждён 20 декабря 1985 г. Госстандарт СССР. Поправки к документу № 1 от 01 декабря 1987 г., ИУС 3-88., №2 от 01 декабря 1991 г., ИУС 2-92№3 от 01 августа 1999 г. ИУС 11-99.

Приложение



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы
МЕТОД КОНТРОЛЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ
НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ
 (наименование темы)

выполненной РЯБИНЫМ АЛЕКСАНДРОМ АЛЕКСАНДРОВИЧЕМ,
 (ф.и.о. исполнителя, наименование кафедры)

Кафедра ТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЕ И ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИНСТИТУТА
НЕФТИ И ГАЗА СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
 внедрены в АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КРАСНОЯРСКНЕФТЕПРОДУКТ»

Вид внедренных результатов МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО
ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ
 эксплуатация (изделия, работы, технологии), производство (изделия, работы, технологии) и др.

1. Характеристика масштаба внедрения ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА, ПРИ КОТОРОЙ
БУДЕТ ДОСТИГАТЬСЯ УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА МАСЛА.
- 2.
3. Форма внедрения МЕТОД КОНТРОЛЯ
 методика (метод)
4. Новизна результатов научно-исследовательских работ КАЧЕСТВЕННО НОВЫЕ
 (пионерские, принципиально новые, качественно новые, модификация, модернизация старых разработок)
5. Опытно-промышленная проверка ПОДТВЕРЖДЕНА ПРОТОКОЛАМИ ИСПЫТАНИЙ
ВНЕДРЯЕМОГО МЕТОДА
6. Внедрены: в промышленное производство ПАРК СПЕЦМАШИН И АВТОТРАНСПОРТА
7. Годовой экономический эффект
 Ожидаемый =
 Фактический =
8. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов =
9. Объем внедрения =
 что составляет = от объема внедрения, положенного в основу расчета
 гарантированного экономического эффекта, рассчитанного по окончании НИР
10. Социальный и научно-технический эффект РАЗРАБОТАН МЕТОД КОНТРОЛЯ И
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ ВЛИЯНИЕ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЕГО ВЛИЯНИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНО ПАРАМЕТРОВ ИЗНОСА ПРОТЕКАЮЩИХ НА ФРИКЦИОННОМ
КОНТАКТЕ
 (охрана окружающей среды, недр; улучшение и оздоровление условий труда; специального назначения и т.п.)

От исполнителя
 Автор разработанного метода контроля


 Рябинин А.А.

Заместитель директора по научной работе
 Института нефти и газа
 Сибирского федерального университета


 Безбородов Ю.Н.

УТВЕРЖДАЮ



Первый проректор по науке и
международному сотрудничеству
ФГАОУ ВО «Сибирский
Федеральный университет»

 С.В. Верховец

« » 2017 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

в учебный процесс Института нефти и газа ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» результатов диссертационной работы Рябинина А.А. на тему «Метод контроля влияния предварительного термостатирования на эксплуатационные свойства моторных масел»

Результаты диссертационной работы Рябинина А. А. внедрены в учебный процесс Института нефти и газа Сибирского федерального университета на кафедре «Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы» и используются при проведении лекционных и практических занятий по дисциплине: «Эксплуатация объектов сервиса технических средств топливообеспечения».

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

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



Ю.Н. Безбородов