

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра «Химической и биохимической инженерии»

Зейнуллина Сәнді Серікқызы

«Влияние состава на деэмульгирующую способность турбинных масел»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

Алматы 2025г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра «Химической и биохимической инженерии»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ХиБИ

Канд.хим.наук, ассоц.проф.

Мангазбаева Р.А.



подпись

Ф.И.О.

« 9 » июня

2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему «Влияние состава на деэмульгирующую способность турбинных
масел»

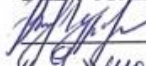
6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

Выполнила

Зейнуллина С.С.

Рецензент

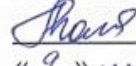
Р.И.Д., ст. преподаватель

 Нурпеисова Ж.А.

« 9 » июня 2025 г

Научный руководитель

канд.хим.наук, ассоц.проф.

 Мангазбаева Р.А.

« 9 » июня 2025 г

Алматы 2025г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра «Химической и биохимической инженерии»

6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ХиБИ
Канд.хим.наук, ассоц.проф.
Мангазбаева Р.А.

подпись «9» июня 2025 г.

Задание

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Зейнуллину Сәнді Серікқызы

Тема: Влияние состава на деэмульгирующую способность турбинных масел

Утверждена приказом проректора по академической работе № 26-П/Ө от 29 января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы « » 25 г.

Исходные данные к дипломной работе Турбинные масла производства Lukoil

Краткое содержание дипломной работы: исследуется влияние компонентного состава турбинных масел на их эмульсионные свойства, определяющие стабильность и эксплуатационные характеристики при контакте с водой

а) сделать аналитический обзор литературы по теме диссертации

б) изучить деэмульсификацию турбинных масел экспериментальным путем

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 15 наименований







ГРАФИК

подготовки дипломной работы


Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор	15.03.25г	выполнено
Методология исследования	20.03.25г.	выполнено
Итоги исследования	27.03.25г.	выполнено
Заключение и выводы	27.03.25г	выполнено

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Формулировка цели и задач исследования	Мангабаева Р.А., канд.хим.наук, ассоц.проф.	19.04.25г.	
Обзор литературы	Мангабаева Р.А., канд.хим.наук, ассоц.проф.	19.04.25г	
Предмет изучения и методология	Мангабаева Р.А., канд.хим.наук, ассоц.проф.	21.04.25г	
Итоги исследования	Мангабаева Р.А., канд.хим.наук, ассоц.проф.	24.04.25г	
Подготовка презентации к защите	Мангабаева Р.А., канд.хим.наук, ассоц.проф.	24.04.25г	
Соответствие оформления работы по ГОСТУ	Мангабаева Р.А., канд.хим.наук, ассоц.проф.	25.04.25г.	

Научный руководитель  Мангазбаева Р.А..

Задание приняли к исполнению обучающийся  Зейнуллина С.С.
подписи

Дата «__» _____ 2025 г.

АҢДАТПА

Жұмыста турбиналық майлардың компоненттік құрамының сумен жанасу кезіндегі тұрақтылық пен өнімділік сипаттамаларын анықтайтын эмульсиялық қасиеттеріне әсері зерттеледі. Эмульсиялау механизмінің негізгі негіздері қарастырылады, эмульсия қабілетіне әсер ететін әртүрлі негіздер мен қоспалардың физика-химиялық қасиеттері талданады. Әр түрлі дисперсті және коррозияға қарсы компоненттері бар май үлгілеріне салыстырмалы сынақтар жүргізілді. Майлардың құрамы мен олардың эмульсиялардың пайда болуына төзімділігі арасында тәуелділіктер бар. Алынған нәтижелер жоғары ылғалдылық пен судың қанығу жағдайлары үшін турбиналық май формулаларын әзірлеу және оңтайландыру кезінде пайдаланылуы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

В работе исследуется влияние компонентного состава турбинных масел на их эмульсионные свойства, определяющие стабильность и эксплуатационные характеристики при контакте с водой. Рассмотрены базовые основы механизма эмульсеобразования, проанализированы физико-химические свойства различных основ и присадок, влияющих на эмульсионную способность. Проведены сравнительные испытания образцов масел с различным содержанием диспергирующих и антикоррозионных компонентов. Установлены зависимости между составом масел и их устойчивостью к образованию эмульсий. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и оптимизации рецептур турбинных масел для условий повышенной влажности и водонасыщения.

ANNOTATION

The paper examines the effect of the component composition of turbine oils on their emulsion properties, which determine stability and performance in contact with water. The basic principles of the emulsification mechanism are considered, the physico-chemical properties of various bases and additives affecting the emulsification ability are analyzed. Comparative tests of oil samples with different concentrations of dispersing and anticorrosive components were carried out. The dependences between the composition of the oils and their resistance to the formation of emulsions have been established. The results obtained can be used in the development and optimization of turbine oil formulations for conditions of high humidity and water saturation.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Аналитический обзор литературы	9
1.1 Теоретические основы деэмульсации турбинных масел	9
1.2 Методы деэмульсации турбинных масел	15
1.3 Современные тенденции в области деэмульсации турбинных масел ..	20
1.4 Практическое применение методов деэмульсации в промышленности	25
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	31
2.1 Подготовка образцов масла с присадками	31
2.2 Исследование реологических и физических свойств	33
2.3 Изучение процесса деэмульгирования	34
2.4 Исследование коррозионной активности масел	34
2.5 Определение кислотного числа	35
2.6 ИК-спектроскопический анализ	37
3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	46
Приложения.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Турбинные масла являются важнейшим компонентом для смазки и эксплуатации высокопроизводительного турбинного оборудования, используемого в энергетике, авиации и промышленности. Эти масла должны сохранять свою физическую и химическую стабильность при экстремальных температурах, давлении и условиях эксплуатации. Одной из ключевых эксплуатационных характеристик турбинных масел является их деэмульгирующая способность — способность быстро отделяться от воды при образовании эмульсий. Эффективная деэмульгация необходима для защиты турбинных систем от коррозии, износа и ухудшения эксплуатационных характеристик, вызванных загрязнением воды [1]. Образование водомасляных эмульсий является распространенной проблемой в турбинных системах, часто возникающей в результате образования конденсата, протечек или воздействия влажной среды. Если эмульсии сохраняются, они ухудшают смазывающие свойства масла и могут привести к поломке оборудования. Поэтому в состав турбинных масел входят присадки, повышающие их деэмульгирующие свойства. Однако состав масла, включая тип базового масла, пакет присадок и модификаторы вязкости, может существенно влиять на то, насколько хорошо масло противостоит образованию эмульсии и способствует разделению фаз.

Недавние исследования показали, что различия в химической структуре базовых масел, таких как минеральные и синтетические масла, а также наличие и концентрация поверхностно—активных добавок играют ключевую роль в кинетике и термодинамике стабильности эмульсии. Несмотря на постоянное совершенствование рецептур смазочных материалов, взаимосвязь между составом масла и эффективностью деэмульгирования остается сложной и до конца не изученной, особенно при различных сценариях эксплуатации. Целью данного исследования является изучение влияния состава масла на деэмульгирующие свойства турбинных масел. Изучая, как конкретные добавки и вариации базовых компонентов влияют на эффективность разделения эмульсий, мы стремимся получить представление об оптимизации рецептур масел для улучшения отделения воды. Полученные результаты будут иметь практическое значение для отраслей промышленности, использующих турбины, что позволит улучшить выбор смазочных материалов и увеличить срок службы оборудования.

Цель исследования является изучение того, как состав турбинных масел влияет на их деэмульгирующую способность, с целью выявления ключевых факторов состава, таких как тип базового масла и содержание присадок, которые способствуют эффективному отделению воды.

Для достижения этой цели в исследовании определены следующие конкретные **задачи**:

1. Изучить теоретические основы и современную литературу о механизмах деэмульгирования смазочных масел.

2. Проанализировать роль типа базового масла (минерального, синтетического или смешанного) в обеспечении стабильности эмульсии и водоотделении.

3. Изучить влияние специальных добавок (например, диспергаторов, детергентов, деэмульгаторов) на эмульгирующие и деэмульгирующие свойства турбинных масел.

4. Провести экспериментальные испытания, сравнивающие деэмульгирующие свойства турбинных масел различного состава в стандартных условиях.

5. Интерпретировать экспериментальные данные, чтобы определить взаимосвязь между составом и временем деэмульгирования, эффективностью и стабильностью.

6. На основе полученных результатов дать рекомендации по оптимизации рецептур турбинных масел.

Научная новизна данного исследования заключается в систематическом изучении влияния конкретных факторов состава, включая типы базовых масел и пакеты присадок, на деэмульгирующую способность турбинных масел в контролируемых экспериментальных условиях.

Практическая значимость этого исследования заключается в его потенциале для повышения надежности, эффективности и срока службы турбинных систем, используемых в энергетике, промышленности и авиации. Благодаря выявлению того, как состав турбинных масел, включая тип базового масла и состав пакетов присадок, влияет на их деэмульгирующую способность, это исследование дает практическую информацию производителям смазочных материалов.

1 Аналитический обзор литературы

1.1 Теоретические основы деэмульсации турбинных масел

Эмульсия в турбинных маслах представляет собой комбинацию масла и воды, в которой вода равномерно распределена по маслу в виде мелких капель. Обычно это происходит в результате загрязнения водой, вызванного конденсацией, утечкой или недостаточной герметизацией [2].

Эмульсии обычно подразделяются на два типа (масло-в-воде, вода-в-масле):

-Эмульсии типа «Масло в воде» (O/W) - в которых масло диспергировано в качестве внутренней фазы в непрерывной водной фазе.

-Эмульсии типа «Вода в масле» (W/O) - в которых вода диспергирована в качестве внутренней фазы в непрерывной масляной фазе.

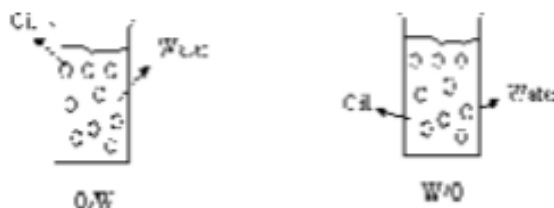


Рисунок 1- Типы эмульсий

Многокомпонентные эмульсии более сложны, чем их двухфазные аналоги, с точки зрения рецептуры, стабильности и высвобождения лекарственного средства. Они служат ценным инструментом для обеспечения длительной доставки лекарственного средства различными путями введения. Это исследование сосредоточено на разработке нескольких эмульсий, которые содержат дополнительный резервуар, что обеспечивает дополнительную стадию распределения лекарственного средства. Этот механизм эффективно замедляет скорость высвобождения лекарственного средства и сокращает требуемую частоту дозирования.

Многокомпонентные эмульсии представляют собой новую систему-носитель, отличающуюся своей сложной и полидисперсной природой, в которой в рамках одной системы сосуществуют как W/O (вода в масле), так и O/W (масло в воде) эмульсии. Для стабилизации этих эмульсий используются липофильные и гидрофильные поверхностно-активные вещества соответственно. Капли дисперсной фазы содержат еще более мелкие дисперсные капли, поэтому их также называют «эмульсиями эмульсий» [1]. Каждая дисперсная капля в двойной эмульсии образует везикулярную структуру с одним или несколькими водными отделениями, отделенными от окружающей водной фазы слоем масляной фазы. В многоэмульсионной системе растворенное вещество должно переходить из внутренней смешивающейся фазы во внешнюю смешивающуюся фазу через промежуточную несмешивающуюся органическую фазу. Из-за такой структуры многоэмульсионные системы также известны как жидкостные мембранные системы.

Различные типы эмульсий:

а) Эмульсия типа масло-в-воде-в-масле (O/W/O): В системах O/W/O водная фаза разделяет внутреннюю и внешнюю масляную фазы. Другими словами, капли масла заключены в водную фазу, которая, в свою очередь, окружена другой масляной фазой.

б) Эмульсия типа «Вода-в-масле-в-воде» (W/O/W): В системах W/O/W органическая фаза разделяет внутреннюю и внешнюю водные фазы. Это означает, что капли воды заключены в масляную фазу, которая дополнительно окружена другой водной фазой.

Среди множества эмульсий системы W/O/W наиболее широко изучаются в связи с их потенциальным применением в контролируемой доставке лекарственных средств и препаративных формах с замедленным высвобождением [3].

Образование эмульсий в маслах, особенно в моторных и промышленных смазочных материалах, происходит, когда вода загрязняет масло и диспергируется в нем в виде мелких капель (W/O-эмульсия) или, наоборот, масло диспергируется в воде (O/W-эмульсия). Этот процесс обусловлен различными механическими, химическими и тепловыми факторами. Стадии образования эмульсий в маслах:

1. Загрязнение водой - Вода попадает в масло через утечки, конденсацию или внешние источники.

2. Диспергирование - Сдвиговые силы и турбулентность разбивают воду на мелкие капли в масле.

3. Стабилизация - Присадки, загрязнения или продукты окисления предотвращают слияние и осаждение водяных капель.

4. Формирование стабильной эмульсии - вода остается суспендированной в масле, что приводит к изменению вязкости, ускорению окисления и снижению эффективности смазки.

Методы предотвращения и контроля образования эмульсий в маслах:

- Регулярно проверять и контролировать загрязнение водой (например, искать утечки охлаждающей жидкости и конденсацию).

- Использовать деэмульгирующие масла, которые не способствуют стабилизации воды.

- Обеспечивать надлежащую вентиляцию и дренаж в системах хранения масла и двигателях.

- Поддерживать оптимальную температуру масла, чтобы минимизировать избыточную конденсацию.

- Применять фильтрацию и методы сепарации, чтобы удалять воду и эмульсии из смазочных материалов.

- Понимание механизмов образования эмульсий играет ключевую роль в предотвращении деградации масла, уменьшении износа деталей и поддержании высокой эффективности смазки в двигателях и промышленных системах.

Факторы, влияющие на образование эмульсий:

а) Механическое перемешивание и сдвиговые силы: Быстро движущиеся детали (например, компоненты двигателя, гидравлические системы) создают значительные сдвиговые нагрузки. Эти силы разбивают водяные капли на более мелкие частицы, способствуя стабильности эмульсий в масле. Турбулентность и колебания давления внутри двигателя или механизма усиливают перемешивание, препятствуя отделению воды.

в) Поверхностно-активные вещества (ПАВ) и присадки в масле: Дeterгенты, диспергаторы и эмульгаторы в моторных и гидравлических маслах способствуют стабилизации водяных капель, предотвращая их слияние. Некоторые присадки непреднамеренно увеличивают устойчивость эмульсий, образуя защитные оболочки вокруг капель воды.

с) Температурные колебания и конденсация: Повторяющиеся циклы нагрева и охлаждения вызывают конденсацию воды внутри двигателей, редукторов и резервуаров хранения масла. Холодный запуск двигателя приводит к образованию конденсата, который затем смешивается с маслом при его движении. При высоких температурах часть воды испаряется, тогда как оставшаяся часть образует мелкие диспергированные капли в масле.

д) Загрязнения и примеси: Грязь, частицы износа и продукты окисления выполняют роль эмульгаторов, стабилизируя водяные капли в масле. Загрязнение гликолем (из-за утечек охлаждающей жидкости) усиливает образование эмульсий, создавая гидрофильную среду в масле.

Температура существенно влияет на образование, стабильность и разрушение эмульсий, влияя на вязкость, межфазное натяжение и молекулярные взаимодействия между дисперсной и сплошной фазами [4].

Влияние температуры на образование эмульсии. Более высокие температуры улучшают диспергирование: С повышением температуры вязкость снижается, что обеспечивает лучшее диспергирование капель и способствует образованию эмульсии. Тепловая энергия ослабляет межмолекулярные взаимодействия, облегчая переход одной фазы в другую.

Повышенные температуры повышают эффективность поверхностно-активных веществ, многие эмульгаторы действуют более эффективно в оптимальных температурных диапазонах, улучшая стабильность эмульсии.

Более высокие температуры повышают растворимость поверхностно-активных веществ, что еще больше способствует эмульгированию. Более низкие температуры повышают вязкость - снижение температуры приводит к повышению вязкости в непрерывной фазе, что затрудняет диспергирование капель [3,4]. В системах, где масло является непрерывной фазой (без эмульсий), повышенная вязкость может способствовать большей стабильности эмульсии за счет ограничения движения капель.

Влияние температуры на стабильность эмульсии. Термическое перемешивание и коалесценция: Повышенные температуры усиливают движение молекул, что приводит к столкновению капель и их слиянию, что в конечном итоге может привести к разрушению эмульсии. Чрезмерное нагревание может снизить эффективность поверхностно-активных веществ, что

еще больше дестабилизирует эмульсию. Разделение фаз из-за экстремальных температур: Низкие температуры могут привести к разделению фаз, вызванному замерзанием или изменением плотности масла и воды. Очень высокие температуры могут привести к разрушению эмульсий из-за испарения воды или изменения свойств поверхностно-активных веществ [4]. Влияние на характеристики поверхностно-активных веществ: Некоторые поверхностно-активные вещества теряют эффективность за пределами оптимального температурного диапазона, что приводит к разрушению эмульсии. Чрезмерное нагревание может вызвать химическую деструкцию поверхностно-активных веществ, что еще больше снижает стабильность эмульсии.

Влияние механических примесей. Механические примеси, содержащиеся в маслах, представляют собой твердые примеси, в том числе металлические частицы, пыль, песок, сажу и другие посторонние вещества. Эти примеси могут быть вызваны производственными процессами, загрязнением окружающей среды или износом механических компонентов.

Воздействие механических примесей:

- Повышенный износ-твердые частицы приводят к абразивному износу, ускоряя разрушение компонентов двигателя и механизмов.

В результате на металлических деталях появляется шероховатость и микротрещины.

- Снижается эффективность смазки-загрязняющие вещества разрушают масляную пленку, препятствуя надлежащему смазыванию. Это увеличивает трение, вызывая перегрев и возможный преждевременный выход из строя.

- Засорение масляных фильтров и каналов-мелкие частицы могут забивать масляные фильтры, препятствуя нормальной циркуляции масла. Более крупные загрязнения могут скапливаться в узких масляных каналах, что приводит к падению давления и нехватке масла.

- Ускорению коррозии-некоторые механические примеси, в частности оксиды металлов и влага, могут вступать в реакцию с маслом, что приводит к образованию кислотных соединений. Это ускоряет коррозию металлических поверхностей, сокращая срок службы оборудования.

- Образование шлама и отложений-примеси способствуют накоплению шлама, особенно в условиях высоких температур. Отложения могут снижать эффективность подачи масла, увеличивая затраты на техническое обслуживание [3].

Влияние присадок в маслах. Присадки - это химические соединения, вводимые в масла для улучшения смазывающих свойств, стабильности и общей производительности в различных условиях эксплуатации.

Виды присадок и их действие: *Модификаторы вязкости*-поддерживают текучесть масла в различных температурных диапазонах. Предотвращает чрезмерное загустение при низких температурах и разжижение при высоких температурах. *Противоизносные средства* (например, диалкилдитиофосфат цинка (ZDDP))-создают защитную пленку на металлических поверхностях, минимизируя износ. Незаменимы при работе под высоким давлением и при

высоких нагрузках. *Моющие средства и диспергаторы*-удерживают загрязняющие вещества во взвешенном состоянии, предотвращая образование шлама и отложений. Улучшают чистоту двигателя за счет удаления нагара. *Антиоксиданты (например, фенолы, амины)*.предотвращает окисление и деградацию масла, продлевая срок его службы. Уменьшает образование осадка в условиях высоких температур. *Противозадирные присадки (например, серно-фосфорные соединения)*-предотвращают контакт металла с металлом при высоких нагрузках (например, трансмиссионные масла). Образуют защитные химические слои на металлических поверхностях. *Ингибиторы коррозии и ржавчины*-защищает металлические компоненты от окисления и воздействия влаги. Незаменимо в судостроении, промышленности и автомобилестроении. *Ингибиторы образования пены (например, силиконовые компаунды)*-уменьшают пенообразование, обеспечивая бесперебойную циркуляцию масла. Незаменимо для гидравлических и моторных масел, где пена может снижать эффективность [4].

Влияние режимов работы двигателя. Условия эксплуатации двигателя играют решающую роль в определении его производительности, КПД, степени износа и общего срока службы. Различные режимы работы, такие как холостой ход, частичная нагрузка, полная нагрузка и экстремальные условия, напрямую влияют на смазку, расход топлива, выбросы вредных веществ и долговечность компонентов. Ниже приводится подробный анализ того, как различные режимы работы двигателя влияют на его функциональность [3].

1. Режим холостого хода-когда двигатель работает на низких оборотах без существенной нагрузки, он находится в режиме холостого хода. Последствия холостого хода: Неполное сгорание топлива. На холостом ходу эффективность сгорания снижается, что приводит к образованию нагара на поршнях и клапанах. Остатки несгоревшего топлива накапливаются, что может привести к разбавлению моторного масла и снижению эффективности смазки. Повышенное загрязнение масла. Продолжительная работа на холостом ходу приводит к скоплению топлива и влаги в картере, ускоряя деградацию масла. Приводит к образованию шлама и отложений, что увеличивает потребность в техническом обслуживании. Снижается топливная экономичность. При работе на холостом ходу топливо расходуется без выполнения полезной работы, что приводит к увеличению расхода топлива. Это особенно проблематично в условиях пробок на дорогах, когда эффективность двигателя снижается. Неэффективность системы охлаждения. Система охлаждения может работать неоптимально во время длительной работы на холостом ходу, что приводит к повышению локальной температуры и возможному перегреву. Разрядка аккумулятора. В автомобилях длительная работа на холостом ходу при активной электрической нагрузке (переменный ток, освещение, информационно-развлекательная система) может привести к разрядке аккумулятора.

2. Работа с низкой или частичной нагрузкой-это происходит, когда двигатель работает на пределе своих возможностей, что обычно наблюдается при езде по городу, в круизе или при умеренном ускорении. Эффект от работы

с низкой нагрузкой: Повышенная экономия топлива Умеренные нагрузки на двигатель обеспечивают оптимальное сгорание топлива, что приводит к повышению топливной экономичности. Большинство современных двигателей работают лучше всего при нагрузке 40-60%.

-*Сниженный износ двигателя*-меньшая механическая нагрузка на компоненты двигателя минимизирует износ, связанный с трением.

Обеспечивается надлежащая смазка, предотвращающая разрушение масла.

-*Снижаются выбросы выхлопных газов*-сгорание топлива происходит более полно, что приводит к уменьшению количества несгоревших углеводородов и выбросов CO.

3. При высокой нагрузке и работе на полном газу-мощность двигателя близка к максимальной при таких видах деятельности, как быстрый разгон, буксировка или гонки, что приводит к увеличению механических нагрузок. Последствия работы с высокой нагрузкой: Повышенная температура и давление. При высоком давлении сгорания выделяется избыточное тепло, которое может привести к поломке масла. Для предотвращения перегрева системы охлаждения и смазки должны работать эффективно. Повышенный износ. Повышенная механическая нагрузка на поршни, коленчатый вал и клапаны. Подшипники и стенки цилиндров испытывают повышенное трение, что ускоряет износ. Большой расход топлива. При полном газе топливные форсунки работают на максимальной мощности, что значительно снижает топливную экономичность. Некачественное топливо может вызвать детонацию двигателя, снижая его производительность. Риск детонации (детонационного удара). Длительные высокие нагрузки могут привести к преждевременному воспламенению, повреждению поршней и клапанов. Для высокопроизводительных двигателей требуется высококачественное топливо с более высоким октановым числом, чтобы предотвратить детонацию.

4. Условия дорожного движения в режиме «стоп-и-гоу»- при движении часто приходится ускоряться и тормозить, что негативно сказывается на работе двигателя. Последствия длительной езды без остановок: *Частые колебания температуры.* Компоненты двигателя быстро расширяются и сжимаются, что увеличивает тепловую нагрузку. Колебания температуры масла могут повлиять на эффективность смазки. *Более высокий расход топлива.* Постоянные ускорения и замедления требуют дополнительной энергии, что снижает экономию топлива. Двигатели с турбонаддувом могут испытывать повышенное давление наддува, что ускоряет износ компонентов. *Ускоренный износ двигателя.* Частые циклы пуска-остановки приводят к перегрузке стартера и разрядке аккумулятора. Повышенные отложения углерода в клапанах и топливных форсунках снижают эффективность.

5. Экстремальные условия эксплуатации (холодный запуск, перегрузка и движение по бездорожью)-запуск в холодном режиме. При низких температурах масло загустевает, что снижает его способность смазывать движущиеся детали. Повышенный контакт металла с металлом при запуске ускоряет износ. Конденсация влаги внутри двигателя может привести к загрязнению масла [5].

1.2 Методы деэмульсации турбинных масел

Образование устойчивых эмульсий типа «вода в масле» является серьезной проблемой при эксплуатации турбинных систем. Эти эмульсии могут образовываться в результате образования конденсата, утечки из уплотнений или воздействия влажной среды и представлять угрозу коррозии, повышенного износа и ухудшения смазочных свойств [2].

Деэмульгирование - это процесс разрушения этих эмульсий с целью отделения воды от нефти и восстановления ее эффективности. Таким образом, деэмульгирование, или разделение нефтяной и водной фаз, является важнейшим параметром при оценке характеристик турбинного масла. На протяжении многих лет исследователи и специалисты отрасли изучали множество методов деэмульсации, каждый из которых зависит от химического состава нефти, типа эмульсии и условий эксплуатации. Для достижения этой цели существуют различные методы, включая физические, химические и механические [1,2].

Физико-химические методы. Физико-химические методы деэмульгирования предполагают использование химических реагентов и поверхностно-активных веществ для эффективного разрушения водонефтяных эмульсий. Эти методы работают за счет изменения межфазного натяжения, дестабилизации эмульсий и улучшения разделения фаз. Они широко используются в промышленности благодаря своей эффективности при обработке стабильных эмульсий.

1.Использование деэмульгаторов (химических реагентов). Деэмульгаторы - это химические соединения, которые разрушают границу раздела нефть-вода и способствуют слиянию капель воды. Эти реагенты нейтрализуют стабилизирующие вещества в эмульсии, снижают межфазное натяжение и способствуют разделению.

Типы деэмульгаторов:

-Неионогенные поверхностно – активные вещества - разрушают эмульсии, вытесняя природные поверхностно-активные вещества на границе раздела фаз.

-Анионные поверхностно – активные вещества - используются в кислых условиях для усиления дестабилизации.

-Катионные поверхностно – активные вещества - эффективны в щелочных средах.

-Амфотерные поверхностно – активные вещества - регулируют поведение в зависимости от уровня pH.

Механизм действия:

-Деэмульгаторы заменяют стабилизирующие поверхностно-активные вещества в межфазной пленке.

-Ослабляют электростатическое и пространственное отталкивание между каплями.

-Способствуют слиянию диспергированных капель воды, что приводит к разделению фаз.

Преимущества деэмульгаторов: Быстрое отделение воды от масла, эффективно для получения стабильных эмульсий и может применяться для

различных типов масел, недостатки деэмульгаторов: Требуется точного контроля дозировки, остатки химических веществ могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и некоторые деэмульгаторы дороги.

2. Синергетический эффект добавок и растворителей. Некоторые добавки и растворители повышают эффективность деэмульгаторов, обеспечивая синергетический эффект, делая деэмульгацию более эффективной. Роль добавок:

✓ Полимеры – усиливают коалесценцию капель за счет изменения межфазного натяжения.

✓ Растворители на спиртовой основе – снижают вязкость и улучшают проникновение деэмульгатора.

✓ Соразтворители – способствуют растворению асфальтенов и смол, дестабилизируя эмульсии.

3. Ионные и неионные поверхностно-активные вещества. Поверхностно-активные вещества играют ключевую роль в деэмульгировании, модифицируя межфазную пленку вокруг капель воды и способствуя разделению фаз. Ионные поверхностно-активные вещества содержат заряженные гидрофильные группы, которые взаимодействуют с поверхностью эмульсии.

✓ Анионные поверхностно – активные вещества (например, сульфаты, сульфонаты) – используются для кислотных эмульсий.

✓ Катионные поверхностно – активные вещества (например, четвертичные аммониевые соединения) – эффективны в щелочных эмульсиях.

Неионные поверхностно-активные вещества не несут заряда и широко используются благодаря их совместимости с различными условиями pH.

✓ Поверхностно-активные вещества на основе полиэтиленгликоля разрушают межфазный слой.

✓ Этоксигированные спирты снижают межфазное натяжение, способствуя деэмульгированию.

Физико-химические методы, включая химические деэмульгаторы, синергетические присадки и поверхностно-активные вещества, являются высокоэффективными для разрушения эмульсий и восстановления качества масла. Выбор метода зависит от типа эмульсии, состава масла и эксплуатационных ограничений. В то время как химические деэмульгаторы обеспечивают быстрое разделение, синергетические добавки повышают эффективность, а поверхностно-активные вещества изменяют свойства поверхности раздела фаз для эффективной дестабилизации эмульсий [6].

Механические методы деэмульгирования. Механические методы деэмульгирования основаны на применении физических сил и методов разделения для разрушения водонефтяных эмульсий. Эти методы широко используются из-за их эффективности, отсутствия химических добавок и возможности обработки больших объемов эмульгированной нефти. К основным механическим методам относятся центрифугирование, фильтрация и коалесценция, а также мембранные технологии.

1.Центрифугирование. При центрифугировании используется центробежная сила для ускорения отделения воды от масла. В этом процессе используется разница в плотности масла и воды:

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

где: F - центробежная сила, m - масса частиц, ω - скорость вращения, r - радиус вращения.

Ключевой механизм: Капли воды, которые плотнее масла, выходят наружу и собираются отдельно. Масло остается в центре и удаляется через выпускное отверстие. Области применения :

- Утилизация промышленных масел.
- Нефтеперерабатывающие заводы и переработка смазочных материалов.
- Очистка морского и авиационного топлива.

2. Фильтрация и коалесцирование. Этот метод удаляет диспергированные капли воды из масла путем пропускания эмульсии через пористую среду, что способствует коалесценции (слиянию капель воды в более крупные капли), которые можно легко разделить.

Механизм:

- Фильтрация:* Удаляет твердые частицы и загрязнения.
- Коалесценция:* капли воды сливаются, становятся крупнее и разделяются под действием силы тяжести[7].

3. Использование мембранных технологий. Мембранная технология использует селективные мембраны для отделения воды от масла в зависимости от размера молекул и химических свойств. Гидрофобные мембраны – пропускают масло, одновременно отталкивая воду. Гидрофильные мембраны – улавливают молекулы воды, пропуская чистое масло.

Типы мембранных процессов:

- Микрофильтрация (MF): Удаляет крупные капли.
- Ультрафильтрация (UF): Отделяет мелкие капли воды от загрязнений.
- Нанофильтрация (NF): Удаляет растворенные соли и примеси.
- Обратный осмос (RO): Усовершенствованная очистка для получения высокостабильных эмульсий [7,8].

Эффективность метода, его стоимость, энергопотребление лучше всего подходит для центрифугирования эмульсий с высокой плотностью, а фильтрация и коалесценция - средние, средние с низким содержанием крупных капель воды. Мембранные технологии - очень высокие, очень высокие, среднетонкие эмульсии, прецизионное разделение

Механические методы деэмульгирования, такие как центрифугирование, фильтрация и коалесценция, а также мембранные технологии, обеспечивают эффективные способы отделения воды от нефти без химических добавок. Центрифугирование идеально подходит для быстрого разделения сыпучих материалов, фильтрация и коалесценция хорошо подходят для получения умеренно стабильных эмульсий, а мембранная технология обеспечивает улучшенное разделение мелкодисперсных эмульсий. Выбор метода зависит от стоимости, энергоэффективности и типа обрабатываемой эмульсии [8].

Термические и термохимические методы деэмульсации. Термические и термохимические методы деэмульсации предполагают использование тепла и химических реагентов для отделения воды от нефти. Эти методы широко применяются в нефтяной промышленности, при переработке смазочных материалов и очистке сточных вод для разрушения стабильных эмульсий, улучшения разделения фаз и улучшения качества продуктов на масляной основе.

1. Разделение фаз при нагревании. Нагрев снижает вязкость масла и межфазное натяжение, способствуя слиянию капель воды и их отделению от масляной фазы. Этот метод особенно эффективен для эмульсий типа «вода в масле» (W/O). Основные механизмы:

- Снижение вязкости позволяет каплям воды более свободно перемещаться и сливаться.

- Увеличение молекулярного движения нарушает стабилизацию эмульгаторов.

- Уменьшение межфазного натяжения снижает стабильность эмульсии.

Основные факторы, влияющие на термическое разделение фаз:

- Диапазон температур: Обычно 60-150°C, в зависимости от типа масла.

- Продолжительность нагрева: Длительный нагрев улучшает сепарацию, но может ухудшить качество масла.

- Тип эмульсии: Менее эффективна для получения стабильных эмульсий, содержащих поверхностно-активные вещества или мелкие капли [9].

2. Комбинированные технологии термической и химической обработки. Нагрев ускоряет химическую реакцию, разрушая межфазные барьеры и улучшая характеристики деэмульгатора. Химические деэмульгаторы (например, поверхностно-активные вещества, кислоты или щелочи) воздействуют на поверхность раздела фаз эмульсии, ослабляя стабилизирующие силы.

Виды комбинированной тепловой и химической обработки:

- Промывка горячей водой: Подогретую воду добавляют для разбавления и дестабилизации эмульсий. Часто используется при обессоливании и обезвоживании сырой нефти.

- Щелочная или кислотная термообработка: Щелочи (NaOH, KOH) нейтрализуют кислотные компоненты масла. Кислоты (HCl, H₂SO₄) разрушают эмульгаторы. Используются для очистки отработанных масел и промышленных систем смазки.

- Нагрев с помощью поверхностно-активных веществ: Неионные поверхностно - активные вещества изменяют межфазное натяжение, способствуя слиянию капель воды. Нагрев обеспечивает эффективное проникновение деэмульгаторов. Идеально подходит для получения высокостабильных эмульсий с асфальтенами и смолами [10].

Термическая деэмульгация является экономичным и широко используемым методом разрушения простых эмульсий, но требует больших затрат энергии. Термохимическая обработка повышает эффективность за счет сочетания нагрева с химическими деэмульгаторами, что позволяет получать высокостабильные

эмульсии. Выбор метода зависит от типа эмульсии, эксплуатационных затрат и требуемой эффективности разделения.

Электрофизические методы деэмульгирования. Электрофизические методы используют электрические поля, электромагнитные волны или ультразвуковую энергию для разрушения эмульсий и отделения воды от нефти. Эти методы эффективны для получения стабильных эмульсий, в то время как механические и химические методы менее эффективны. Два основных электрофизических метода включают электродинамическую деэмульгацию и ультразвуковую обработку [9].

1. Электродинамическая деэмульгация. В этом методе к эмульсии прикладывается высоковольтное электрическое поле, вызывающее поляризацию и слияние капель воды. Капли воды выстраиваются вдоль электрического поля и сливаются, облегчая разделение. Основные механизмы:

- Поляризация диэлектрика: Капли воды становятся поляризованными в переменном электрическом поле.

- Электростатическое притяжение: капли испытывают силы, которые притягивают их друг к другу.

- Коалесценция: образуются более крупные капли, которые в конечном итоге выпадают из масляной фазы. Используемое оборудование:

- Электростатические коалесценты: Устройства, генерирующие высоковольтные электрические поля для ускорения деэмульгации.

- Электроды с параллельными пластинами: Используются для обезвоживания сырой нефти и очистки смазочных материалов.

- Высокочастотные переменные поля: Повышают эффективность за счет постоянного нарушения стабильности эмульсии.

2. Ультразвуковая обработка. Ультразвуковые волны используются для нарушения стабильности эмульсии путем создания высокочастотных механических колебаний. Эти колебания создают акустическую кавитацию, приводящую к слиянию и разделению капель. Основные механизмы:

- Кавитация: Высокочастотные волны создают микропузырьки, которые разрушаются, нарушая стабильность эмульсии.

- Сдвигающие усилия: вибрации приводят к столкновению и слиянию капель.

- Тепловой эффект: Локальное тепло, выделяемое кавитацией, ослабляет поверхностно-активные пленки[10].

Таблица - 1. Сравнительный анализ электрофизических методов

Метод	Эффективность метода	Стоимость метода	Энергопотребление	Оптимальные для
Электродинамическая деэмульгация	Высокая	Высокая	Средний	Обезвоживание сырой нефти
Ультразвуковая обработка	Высокая	Высокая	Высокая	Тонкие и стабильные эмульсии

Электродинамическая деэмульгация идеально подходит для крупномасштабной переработки сырой нефти с использованием электрических полей для улучшения отделения воды. Ультразвуковая обработка эффективна для разрушения мелкодисперсных и стабильных эмульсий за счет кавитации и сдвиговых усилий. Эти электрофизические методы являются экологически чистой альтернативой химическому деэмульгированию, но требуют больших первоначальных инвестиций и энергозатрат.

1.3 Современные тенденции деэмульгирования турбинных масел

Недавний прогресс в области нанотехнологий существенно повлиял на процессы деэмульгирования моторных масел, в частности, благодаря использованию наночастиц в качестве высокоэффективных деэмульгаторов. Наночастицы доказали свою высокую эффективность при разрушении эмульсий в моторных маслах. Их исключительное соотношение площади поверхности к объему и настраиваемые свойства поверхности позволяют им эффективно взаимодействовать с поверхностью раздела эмульсий, облегчая разделение нефтяной и водной фаз [11].

Аналогичным образом, исследования магнитных наночастиц продемонстрировали их потенциал в области деэмульгирования. Этими наночастицами можно управлять с помощью внешних магнитных полей, что позволяет осуществлять целенаправленные и эффективные процессы разделения. Всесторонний обзор показал, что деэмульгаторы на основе магнитных наночастиц представляют собой инновационные решения для разделения нефти и воды, обладая такими преимуществами, как возможность повторного использования и долговременная стабильность. Кроме того, были изучены возможности разработки новых наноматериалов-деэмульгаторов, таких как наночастицы бората родия, для применения в нефтяной промышленности. Эти наночастицы обладают высокой эффективностью разделения: исследования показали, что эффективность удаления воды из эмульсий сырой нефти достигает 84,2%. Эти достижения подчеркивают растущий потенциал наночастиц в повышении эффективности деэмульгирования моторных масел, предлагая превосходные эксплуатационные характеристики и экологически безопасные альтернативы традиционным методам деэмульгирования.

Деэмульгаторы из магнитных наноматериалов - это специализированный класс модифицированных наночастиц, обладающих уникальными свойствами, которые позволяют эффективно и избирательно разделять нефтяную и водную фазы. Эти материалы обычно обладают суперпарамагнитными свойствами, что позволяет им реагировать на внешние магнитные поля, что облегчает манипулирование ими и разделение. Особые физико-химические свойства магнитных наноматериалов, такие как большая площадь поверхности, настраиваемый химический состав поверхности и характеристики, зависящие от размера, проложили путь к разработке передовых и универсальных стратегий деэмульгирования. Ключевым преимуществом деэмульгаторов из магнитных наноматериалов является их способность обеспечивать быстрое и тщательное

разделение фаз. При воздействии внешнего магнитного поля наночастицы агрегируются в эмульсии, способствуя слиянию и гравитационному осаждению разделенных фаз. Этот механизм повышает эффективность разделения, сокращает время обработки и снижает энергопотребление по сравнению с традиционными методами деэмульгирования.

Исследовательские усилия также были направлены на изменение поверхностных свойств магнитных наноматериалов для повышения селективности и стабильности. Добавление к поверхности наночастиц определенных химических групп усиливает адсорбцию на границе раздела нефть-вода, тем самым дестабилизируя эмульсию и способствуя эффективному деэмульгированию. Кроме того, интеграция чувствительных полимеров и интеллектуальных покрытий в наночастицы позволила создать реагирующие на раздражители деэмульгаторы, которые могут быть активированы или деактивированы внешними факторами, такими как pH, температура или ионная сила [12]. Магнитные деэмульгаторы из наноматериалов обладают значительными экологическими преимуществами. Уменьшая зависимость от химических деэмульгаторов и сводя к минимуму потребление энергии, эти наноматериалы способствуют более устойчивым и экологичным процессам разделения. Кроме того, их способность к восстановлению и повторному использованию повышает их экологическую привлекательность, что делает их многообещающей альтернативой традиционным методам [13].

По мере продолжения исследований в этой области необходимо решать проблемы, связанные с масштабируемостью, долгосрочной стабильностью и потенциальной токсичностью этих наноматериалов. Нормативно-правовая база и разработка надежных методов синтеза будут иметь важное значение для обеспечения безопасного и широкого применения деэмульгаторов из магнитных наноматериалов в различных отраслях промышленности.

Каталитические системы для разрушения эмульсий. Каталитические системы необходимы для эффективного разделения эмульсий, особенно в нефтяной промышленности. В этих системах используются катализаторы для дестабилизации и разделения составляющих фаз эмульсий, что повышает эффективность обработки и качество продукта.

Фотокаталитическая деэмульгация. Фотокатализ получил признание как высокоэффективный метод разделения эмульсий. Этот метод предусматривает введение в эмульсию фотокатализаторов, таких как наночастицы диоксида титана. Под воздействием света эти катализаторы образуют реакционноспособные частицы, которые разрушают стабилизирующие вещества на границе раздела нефть-вода, что приводит к разделению фаз. Исследования показали, что введение фотокатализатора в водно-масляную эмульсию усиливает самоадсорбцию на поверхности раздела фаз, способствуя эффективному деэмульгированию [12].

Катализатор фазового перехода. Катализаторы фазового перехода (PTC) облегчают перенос реагента из одной фазы в другую, обеспечивая протекание реакции. В контексте дестабилизации эмульсии PTCS способствуют

перемещению ионных или полярных частиц через границу раздела нефть-вода, нарушая стабильность эмульсии и способствуя разделению фаз. Было продемонстрировано, что разработка катализаторов на границе раздела фаз, которые работают непосредственно на границе раздела несмешивающихся фаз, значительно повышает эффективность разделения.

Химическая деэмульгация. Химические деэмульгаторы широко используются для разрушения эмульсий, нейтрализуя действие эмульгаторов. Эти добавки изменяют свойства поверхности раздела, что приводит к слипанию капель и последующему разделению фаз. Исследования показывают, что выбор подходящего химического деэмульгатора имеет решающее значение для достижения эффективного разрушения эмульсии, поскольку его эффективность зависит от таких факторов, как состав эмульсии и условия эксплуатации [13].

Несмотря на эффективность методов каталитического разделения, сохраняется ряд проблем, включая извлечение катализатора, экологические проблемы и масштабируемость процесса. Текущие исследования направлены на разработку более устойчивых и экономичных каталитических систем, изучение новых материалов и экологически чистых катализаторов для повышения эффективности. В заключение отметим, что каталитические системы, включая фотокатализ, катализ с фазовым переходом и химическую деэмульгацию, играют жизненно важную роль в эффективном разрушении эмульсий в различных отраслях промышленности. Постоянный прогресс в разработке катализаторов и оптимизации процессов повышает устойчивость и эффективность этих технологий разделения.

Экологические аспекты деэмульсации. В области деэмульгирования трубинных масел постоянно совершенствуются технологии, направленные на повышение эффективности, экологичности и воздействия на окружающую среду. Хотя традиционные химические деэмульгаторы остаются эффективными, они вызывают серьезные опасения в отношении токсичности, способности к биологическому разложению и вторичному загрязнению. В ответ на это исследователи активно изучают альтернативные подходы, включая нанотехнологии, каталитические системы и решения на биологической основе, для повышения эффективности деэмульсации при одновременном снижении экологических рисков. Растущие экологические проблемы привели к разработке экологически чистых методов деэмульсации, направленных на минимизацию химических отходов и загрязнения окружающей среды. Обычные деэмульгаторы, в основном получаемые из нефтехимических источников, могут наносить вред водным экосистемам, замедлять их биологическое разложение и способствовать загрязнению воды. Решение этих проблем требует внедрения экологически чистых альтернатив, которые обеспечивают как высокую эффективность, так и экологическую безопасность.

Биодеэмульгаторы: устойчивое решение. Биодеэмульгаторы, полученные из природных или биологических источников, стали экологически чистой заменой синтетическим химическим деэмульгаторам. К их основным преимуществам относятся: Способность к биологическому разложению: В

отличие от обычных деэмульгаторов, биодеэмульгаторы разлагаются естественным образом, снижая долгосрочное воздействие на окружающую среду. **Нетоксичность:** Эти деэмульгаторы, полученные из микробиологических метаболитов, растительных экстрактов или поверхностно-активных веществ на биологической основе, безопасны для экосистем и здоровья человека. **Устойчивое использование ресурсов:** Многие биодеэмульгаторы получают из возобновляемых источников или побочных промышленных продуктов, что способствует развитию экономики замкнутого цикла. Некоторые микроорганизмы, такие как дрожжи и бактерии, естественным образом синтезируют биосурфактанты, которые могут выполнять функцию эффективных деэмульгаторов. В сравнении с традиционными химическими реагентами, биодеэмульгаторы обладают более низкой токсичностью и повышенной экологической безопасностью, что делает их перспективными для различных условий эксплуатации [14].

Снижение токсичности деэмульгаторов. Минимизация токсичности деэмульгаторов играет важную роль в снижении негативного воздействия на окружающую среду и развитии устойчивых производственных процессов. Для достижения этой цели разработаны несколько эффективных стратегий:

Разработка биоразлагаемых и нетоксичных деэмульгаторов. Современные достижения в области химических формул способствовали созданию высокоэффективных деэмульгаторов, обладающих биоразлагаемыми и нетоксичными свойствами. Эти вещества обеспечивают эффективное разделение эмульсий, сводя к минимуму вред для окружающей среды.

Внедрение методов физической деэмульсации. Использование микроволновой и ультразвуковой деэмульсации позволяет значительно снизить или даже полностью устранить необходимость применения химических деэмульгаторов. Эти технологии доказали свою высокую эффективность в обработке тяжелых нефтяных эмульсий и признаны экологически безопасными альтернативами.

Перспективы замены нефтехимических реагентов. Переход от нефтехимических реагентов к био-альтернативам набирает обороты, что обусловлено экологическими соображениями и стремлением к устойчивому развитию. Этот процесс оказывает влияние на множество отраслей, включая химическую промышленность, производство пластмасс и энергетический сектор. Химическая промышленность претерпевает значительную трансформацию в сторону использования химических соединений на биологической основе, которые производятся из возобновляемых источников, таких как растительная биомасса. Эти альтернативы направлены на снижение зависимости от ископаемого топлива и минимизацию воздействия на окружающую среду. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), почти все промышленные материалы, полученные из ископаемого сырья, могут быть заменены аналогами на биологической основе. Однако высокая стоимость производства по сравнению с нефтехимическими

альтернативами создаёт экономические барьеры, препятствующие их широкому внедрению.

Рост производства биопластиков. Биопластики, изготовленные из возобновляемых ресурсов, таких как кукуруза и морские водоросли, стали перспективной заменой традиционным пластмассам. Стартапы по всему миру разрабатывают инновационные материалы, нацеленные на снижение пластикового загрязнения. Однако масштабы производства биопластиков остаются ограниченными по сравнению с традиционными пластмассами, которые выигрывают за счёт более низкой себестоимости и государственной поддержки. Кроме того, вопросы биоразлагаемости и потенциальной токсичности привели к необходимости ужесточения нормативов, обеспечивающих их подлинную экологичность.

Использование возобновляемого сырья в производстве энергии. Нефтеперерабатывающие компании всё чаще внедряют возобновляемое сырьё, такое как отработанное растительное масло, в технологические процессы переработки нефти для удовлетворения растущего спроса на экологически чистое топливо.

Этот переход требует использования дополнительных катализаторов и присадок для удаления примесей из биосырья. Например, компания Bharat Petroleum (BPCL) расширяет производство нефтехимической продукции и планирует, чтобы более 40% её портфеля приходилось на нефтехимию. Это будет реализовано за счёт строительства нового нефтеперерабатывающего завода в штате Андхра-Прадеш - стратегического шага в интеграции возобновляемых источников энергии.

Инновационные исследования за последние 10 лет. За последнее десятилетие в области деэмульгирования турбинных масел произошёл значительный прогресс, и исследователи разрабатывают инновационные подходы для повышения эффективности и экологической устойчивости. Ключевые достижения включают использование нанотехнологий, создание новых химических деэмульгаторов и внедрение деэмульгаторов на биологической основе. В статье, опубликованной в 2023 году соавторами Joe Yellow, ChengGong Khe, Fahad Usman, Yarima Mudassir Hasan, Chen Wei Lai, Ka Yeow Yeow, Jun Wei Lin и Kuan Sheng Khoo, рассматривается, как внедрение нанотехнологий способствует разработке магнитных наночастиц (MNP) в качестве эффективных деэмульгаторов [15].

Кроме того, недавние исследования подтвердили, что деэмульгатор на основе MNP демонстрирует высокую эффективность разделения, одновременно решая экологические и экономические задачи, что делает его перспективной альтернативой традиционным методам деэмульгирования. Ahmad A. Adewunmi, Muhammad Shahid Kamal, Said Muhammad, Shakil Hussain представили новые химические эмульгаторы в статье "Nonionic Demulsifier for Smart Demulsification of Crude Oil Emulsion at Room and Moderate Temperatures". В статье рассматривается, как усовершенствования в области химического состава привели к развитию нового поколения неионогенных деэмульгаторов (NID).

Например, одно из исследований продемонстрировало синтез NID путем конденсации гликолевой кислоты, которая, как было установлено, обладает высокой эффективностью деэмульгирования [14].

Деэмульгаторы на биологической основе. Поиск экологически чистых решений для деэмульгирования привел к открытию биосурфактантов, полученных из дрожжей и бактерий, которые служат эффективными деэмульгаторами. По сравнению с традиционными химическими деэмульгаторами альтернативные средства на биологической основе обладают меньшей токсичностью, улучшенной экологической устойчивостью и совместимостью с различными условиями эксплуатации, что делает их многообещающим решением. Анализ эффективности новых методов и технологий. За последние годы в области деэмульгирования моторных масел был достигнут значительный прогресс, при этом особое внимание уделялось повышению эффективности и экологической устойчивости. Инновационные подходы, включая применение нанотехнологий, разработку новых химических составов и внедрение решений на биологической основе, лежат в основе этих достижений. За последнее десятилетие были достигнуты значительные успехи в разработке рецептур, повышении эксплуатационных характеристик и контроле турбинных масел, что обусловлено необходимостью повышения термической стабильности, увеличения срока службы и большей экологической устойчивости. Исследования были направлены на улучшение характеристик смазки, стойкости эмульсий и технологий контроля состояния для удовлетворения требований современных газовых и паровых турбин.

Исследования турбинных масел за последние 10 лет эволюционировали от сосредоточения исключительно на защите и долговечности к более широкому видению интеллектуальной, эффективной и устойчивой смазки. Новые технологии, такие как наноматериалы, интеллектуальные датчики и биодобавки, меняют способы приготовления, применения и контроля турбинных масел, что приводит к более безопасной, чистой и надежной работе турбин. Всесторонние обзоры и новые технологии. В научных обзорах последних лет обобщены достижения в области деэмульсации, охватывающие химические, биологические, механические, термические, электрические, ультразвуковые и мембранные методы. Кроме того, новые технологии, такие как коалесцирующие поверхности, гидроциклоны, мембранные технологии и электрокоалесценция, продемонстрировали высокий потенциал в оптимизации процессов разделения и деэмульсации при добыче нефти.

1.4 Практическое применение методов деэмульсации в промышленности

Деэмульгирование играет решающую роль в нефтяной и нефтехимической промышленности, обеспечивая эффективное разделение эмульсий типа «вода в масле» и «масло в воде», которые широко используются при добыче сырой нефти, ее переработке и очистке сточных вод. Эффективное удаление воды,

солей и других загрязняющих веществ из сырой нефти имеет важное значение для повышения эффективности переработки, предотвращения коррозии, снижения эксплуатационных расходов и обеспечения соблюдения экологических норм. В промышленности широко применяются различные методы деэмульгирования, включая химические, термические, механические, электростатические и мембранные, каждый из которых обладает определенными преимуществами в зависимости от состава эмульсии и условий обработки [16].

Среди этих методов наиболее распространенным остается химическая деэмульгация, в которой используются деэмульгаторы на основе поверхностно-активных веществ для разрушения межфазных пленок и улучшения разделения фаз. Однако методы термической и механической деэмульгации также используются для улучшения процессов обезвоживания и обессоливания сырой нефти. Кроме того, электростатическая деэмульгация получила широкое распространение на нефтеперерабатывающих заводах, особенно в электростатических опреснителях, где высоковольтные поля способствуют эффективному разделению воды. Мембранные технологии, хотя и находятся в стадии разработки, доказывают свою высокую эффективность при очистке сточных вод нефтехимической промышленности и рекуперации смазочных материалов, предлагая устойчивое решение для разделения нефти и воды.

Успешное внедрение технологий деэмульгации было продемонстрировано на крупных нефтехимических предприятиях, включая Saudi Aramco, ExxonMobil и Shell, где усовершенствования в области специализированных деэмульгаторов, высоковольтных электростатических обессоливателей и систем мембранной фильтрации значительно повысили эффективность переработки. Эти инновации привели к повышению качества сырой нефти, снижению воздействия на окружающую среду и оптимизации использования ресурсов. Кроме того, новые тенденции в области деэмульгации на основе наноматериалов, гибридных технологий и оптимизации процессов с использованием искусственного интеллекта определяют будущее промышленной деэмульгации, обеспечивая большую эффективность и устойчивость.

В данной работе исследуется практическое применение методов деэмульгации в промышленных условиях, анализируется их эффективность, технологические достижения и проблемы, связанные с их широкомасштабным внедрением на нефтехимических предприятиях. Далее в нем рассматриваются примеры успешного внедрения технологий, дающие всестороннюю оценку их влияния на переработку сырой нефти, нефтеперерабатывающий завод и управление окружающей средой [15].

Деэмульгирование играет жизненно важную роль в автомобильной и авиационной промышленности, где присутствие воды и эмульсий в топливе, смазочных материалах и гидравлических жидкостях может вызвать серьезные проблемы при эксплуатации. Эффективное разделение эмульсий имеет важное значение для повышения топливной экономичности, долговечности двигателя, предотвращения коррозии и соблюдения экологических требований. В обеих отраслях промышленности наличие эмульсий может привести к ухудшению

качества топлива, снижению эффективности смазки, повышенному износу компонентов двигателя и отказам систем. Для снижения этих рисков широко применяются химические, механические и мембранные методы деэмульгирования, обеспечивающие чистоту и стабильность топлива, смазочных материалов и гидравлических жидкостей, используемых в транспортных средствах и самолетах [16].

В этой главе рассматривается важность деэмульгирования в автомобилестроении и авиации, методы, используемые для разделения эмульсий, и примеры из практики ведущих компаний отрасли, которые успешно внедрили передовые технологии деэмульгирования.

Попадание воды в дизельное топливо, бензин и биотопливо может привести к: Размножению микробов в топливных баках, что приводит к ухудшению качества топлива. Засорению форсунок и снижению эффективности сгорания топлива. Коррозии компонентов топливной системы и повреждению двигателя.

Для предотвращения подобных проблем в системах очистки, хранения и впрыска топлива применяются методы деэмульгации. Фильтрация, химическая деэмульгация и коалесцентные сепараторы обычно используются на топливных складах и нефтеперерабатывающих заводах для удаления воды из автомобильного топлива перед распределением. Промышленный пример:

-BP и ExxonMobil используют химические деэмульгаторы на нефтеперерабатывающих заводах, чтобы обеспечить соответствие дизельного топлива и бензина строгим требованиям по содержанию воды.

-Водоотделители в дизельных двигателях предотвращают скопление воды в топливопроводах, улучшая работу двигателя.

Эмульгированное масло в системах смазки двигателя и трансмиссии может привести к: Снижению эффективности смазки, увеличению трения и износа. Образованию осадка, вызывающего механические повреждения. Окислению смазочных материалов, что сокращает срок их службы.

Для поддержания чистоты и эффективности масла в автомобильных системах смазки используются механическое разделение, химические деэмульгаторы и центрифугирование. Промышленный пример: Mercedes-Benz и BMW применяют методы деэмульгации масла при обслуживании двигателей для повышения долговечности смазочных материалов и снижения износа движущихся частей.

На автомойках, заводах-изготовителях и станциях технического обслуживания в системах очистки сточных вод скапливаются водонефтяные эмульсии, которые требуют очистки перед сбросом [17]. Промышленный пример: Ford и Toyota используют мембранные системы разделения масла и воды для соблюдения экологических норм.

Загрязнение авиационного топлива водой (Jet A-1, Jet B) может привести к образованию льда в топливопроводах на больших высотах. Росту микробов, что приводит к ухудшению качества топлива и засорению фильтров. Ухудшению работы двигателя и угрозе безопасности. Чтобы предотвратить подобные риски, авиационное топливо перед подачей в топливные баки проходит тщательный

процесс деэмульгации с использованием фильтрации, химических деэмульгаторов и коалесцентных сепараторов. Промышленный пример: Boeing и Airbus используют передовые системы деэмульгации при переработке топлива для обеспечения чистоты реактивного топлива. В аэропортах используются коалесцирующие системы фильтрации для удаления воды из авиационного топлива перед заправкой самолета.

Самолеты используют гидравлические жидкости и смазочные материалы для шасси, систем управления полетом и двигателей. Загрязнение воды в этих системах может привести к: Разрушение жидкости, снижающее гидравлический КПД. Коррозия металлических компонентов, влияющая на надежность самолета. Увеличение затрат на техническое обслуживание из-за системных сбоев. Для решения этих задач используются химические деэмульгаторы и мембранные сепарационные системы для удаления воды из авиационных гидравлических жидкостей [16].

Таблица - 2. Методы деэмульгации в автомобилестроении и авиации

<i>Метод</i>	<i>Преимущества</i>	<i>Применения метода</i>
Химическая деэмульгация	Очистка топлива, смазочных материалов	Эффективен для разрушения устойчивых эмульсий
Коалесцентное разделение	Фильтрация топлива в автомобилях и самолетах	Эффективно удаляет воду с минимальными затратами энергии
Мембранное разделение	Авиационные гидравлические системы, очистка сточных вод автомоек	Экологически чистая, высокоселективная смазка
Центрифугирование	Смазка для автомобилей и самолетов	Быстрая и эффективная для жидкостей с высокой вязкостью

Деэмульгирование является важнейшим процессом в автомобильной и авиационной промышленности, обеспечивающим качество топлива, защиту двигателя и эффективную работу системы смазки. Использование передовых методов деэмульгирования при очистке топлива, смазке и обслуживании гидравлических систем значительно повысило надежность и экономичность современных транспортных средств и самолетов. Тематические исследования ведущих компаний, таких как BP, ExxonMobil, Boeing, Rolls-Royce и Mercedes-Benz, демонстрируют успешное внедрение технологий деэмульгации для повышения производительности и безопасности. По мере того как отрасль переходит к более экологичным и эффективным технологиям разделения, мониторинг, управляемый искусственным интеллектом, экологически чистые

деэмульгаторы и гибридные системы будут играть решающую роль в следующем поколении решений для деэмульгации [17].

Длительная эксплуатация турбинных систем приводит к постепенной деградации турбинных масел, что приводит к образованию продуктов окисления, осадка, кислотных соединений и накоплению воды и твердых частиц загрязняющих веществ. Отработанные турбинные масла не только теряют свои смазочные свойства, но и могут представлять опасность для окружающей среды при неправильной утилизации или обработке. Поэтому регенерация отработанных турбинных масел стала важной областью исследований и промышленной практики, направленной на восстановление их физико-химических свойств и продление срока службы. Деградация турбинного масла обусловлена несколькими механизмами, в том числе: Термическое окисление: высокие температуры ускоряют разрушение углеводородных цепей. Загрязнение: попадание воды, пыли, металлических частиц и побочных продуктов сгорания. Истощение присадок: со временем концентрация и эффективность антиоксидантов, деэмульгаторов и противоизносных присадок снижаются. Эти изменения приводят к увеличению вязкости, кислотного числа, склонности к эмульгированию и потере деэмульгирующей способности, что требует замены или регенерации масла.

Методы регенерации направлены на удаление загрязнений и восстановление работоспособности масла. Наиболее распространенные подходы включают в себя:

Физические методы: Фильтрация - удаление твердых частиц с помощью фильтров тонкой очистки или центробежных сепараторов. Центрифугирование-разделение воды и взвешенных частиц на основе различий в плотности. Вакуумная дегидратация - эффективно удаляет воду и легкие летучие вещества.

Химические и физико-химический методы:

- Адсорбция: для удаления полярных продуктов разложения, кислот и прекурсоров лака используются такие материалы, как фуллерова земля, бентонит, активированная глина или глинозем.

- Нейтрализация: химическая обработка щелочами для снижения кислотности.

- Коагуляция: для отделения мелких загрязнений, которые трудно отфильтровать.

Современные системы регенерации часто сочетают в себе несколько методов (например, фильтрацию + адсорбцию + вакуумную дегидратацию) для достижения более высокой эффективности и восстановления как физических, так и химических характеристик масла. Несмотря на то, что регенерация может значительно улучшить качество отработанных масел, она не всегда позволяет полностью восстановить первоначальное содержание присадок. Поэтому для обеспечения соответствия регенерированного масла эксплуатационным стандартам часто требуется повторное добавление присадок после обработки. Кроме того, некоторые методы регенерации могут привести к образованию вторичных отходов (например, отработанных адсорбентов или химического

шлама), требующих надлежащей утилизации. Регенерация отработанных турбинных масел обладает рядом ключевых преимуществ: Сnižает загрязнение окружающей среды в результате утилизации отработанных масел. Продлевает срок службы масла и снижает зависимость от новой добычи нефти. Сnižает эксплуатационные расходы промышленных предприятий. Поддерживает устойчивую практику в энергетическом и производственном секторах [17].

Регенерация отработанных турбинных масел является жизнеспособной и экологически безопасной альтернативой утилизации. Применяя передовые методы фильтрации, адсорбции и химической обработки, можно восстановить значительную часть первоначальных функциональных возможностей масла. Растущее внимание к экологичности и экономической эффективности промышленных операций гарантирует, что технологии регенерации будут продолжать развиваться и играть жизненно важную роль в управлении смазочными материалами.

2 Экспериментальная часть

2.1 Подготовка образцов масла с присадками. На первом этапе были приготовлены различные составы турбинных масел с добавлением выбранных деэмульгаторов, антиоксидантов, ингибиторов коррозии и дезактиваторов металлов. Каждая рецептура была разработана в соответствии с лабораторным протоколом для обеспечения однородности и воспроизводимости.

Лабораторные весы RADWAG PS 2500.3Y (Польша) (рисунок 2) использовались для точного взвешивания образцов масел и реагентов. Прибор относится к прецизионным весам класса точности II по ГОСТ OIML R76-1, обеспечивает точность до 0.01 г, подходит для жидких и твёрдых веществ. Весы оснащены внешним цифровым дисплеем, устойчивой платформой из нержавеющей стали. Изготовлены в 2018 году, серийный номер 59/125. Применялись при гравиметрическом анализе, определении влаги, осадков и в расчётах при деэмульсационных исследованиях.

Все данные для компонентов указаны в конце приложений.



Рисунок 2- Гравиметрический анализ реагентов и турбинных масел.

В ходе эксперимента использовалась лабораторная мешалка ПЭ-8300 (ЭКРОС, Россия), установленная на индукционной плите STARLUX (рисунок 3). Комплекс предназначен для приготовления модельных эмульсий путём интенсивного перемешивания с возможностью подогрева. Мешалка оснащена четырёхлопастной турбинной насадкой и работает в диапазоне до 3000 об/мин, что обеспечивает эффективное диспергирование водной фазы в масле. Электронное управление позволяет точно регулировать скорость вращения. Индукционная плита поддерживает необходимую температуру среды, моделируя условия эксплуатации турбинных масел.

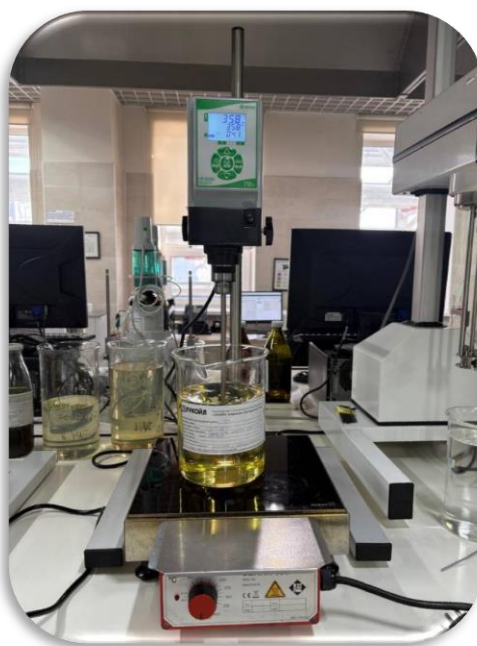


Рисунок 3 – Термическая обработка образцов с использованием магнитной мешалки. $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ минут.

На фото представлены четыре образца турбинных масел, подготовленных на базе масла марки ЛУКОЙЛ НИГ-6 (ГПШ) и использованных в исследовании (рисунок 4):

Образец 1 — масло с добавлением деэмульгатора Дипроксамин-157. Продукт получен при температуре $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Деэмульгатор введён в концентрации $0,046\text{ }%$, предназначен для ускоренного отделения воды из масла.

Образец 2 — масло с деэмульгатором и антиоксидантной присадкой Антидол-1, добавленной в концентрации $0,120\text{ }%$. Образец изготовлен при температуре $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Присадка повышает устойчивость масла к термоокислительной деструкции.

Образец 3 — масло с полным пакетом присадок: деэмульгатор ($0,046\text{ }%$), антиоксидант ($0,120\text{ }%$) и ингибитор коррозии ($0,120\text{ }%$). Приготовлено при температуре $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Комплексный состав моделирует условия повышенной защиты масла в турбинных установках.

Образец 4 — контрольное базовое масло без добавок (ВНИИ НП-6), использованное для сравнительного анализа. Продукт представляет собой неаддитивированное масло и служит эталоном при оценке влияния присадок.

Все образцы были приготовлены при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 60 минут на мешалке ПЭ-8300 с четырёхлопастной турбинной насадкой, установленной на индукционной плите STARLUX. Перемешивание обеспечивало равномерное распределение компонентов в масляной среде.



Рисунок 4 – Образцы турбинных масел

2.2 Исследование реологических и физических свойств. Были изучены физические и реологические свойства подготовленных образцов. Были измерены такие ключевые параметры, как кинематическая вязкость при 40°C и 100°C, кислотное число и плотность. Эти характеристики необходимы для оценки стабильности масла при термических и механических нагрузках. Anton Paar SVM 3001 (рисунок 5) — лабораторный прибор, предназначенный для одновременного измерения вязкости и плотности жидкостей, включая турбинные масла. Принцип действия основан на методе Штабингера (для измерения вязкости) и вибрационном методе (для определения плотности). Прибор автоматически измеряет следующие показатели:

- Кинематическая вязкость — скорость течения жидкости под действием силы тяжести ($\text{мм}^2/\text{с}$).
- Динамическая вязкость — сопротивление жидкости движению ($\text{мПа}\cdot\text{с}$).
- Плотность — масса вещества в единице объёма ($\text{г}/\text{см}^3$).
- Температура анализа — температура, при которой проводятся измерения, влияет на свойства жидкости.

Измерения проводятся в соответствии с ASTM D7042, ASTM D4052, ГОСТ 33-2000 и ГОСТ 3900-85. Используется для оценки физико-химических свойств масел в стандартных условиях (например, при 40 °C и 100 °C).



Рисунок 5- Вискозиметр Штабингера Anton Paar SVM 3001

2.3 Изучение процесса деэмульгирования.

Экспериментальная процедура деэмульгирования была проведена с использованием прибора МОСТ-1М. Образцы были протестированы при стандартных условиях (20°C и 93°C) для наблюдения за разделением фаз. Было зафиксировано время, необходимое для четкого разделения нефти и воды.

МОСТ-1М — лабораторный прибор, предназначенный для определения времени деэмульсации масел, то есть способности разделять водно-масляную эмульсию на отдельные фазы (рисунок 6).

Метод основан на визуальной фиксации времени разделения фаз при заданной температуре. Образец смеси масла и воды помещается в термостатированную ванну, где поддерживается необходимый температурный режим — 20 °C и 93 °C. Прибор применяется в соответствии с требованиями ГОСТ 7125-2017 и ASTM D1401, и используется для оценки эксплуатационной стабильности турбинных масел в присутствии влаги. Измерения проводятся с объёмом масла 20 мл и эмульсии 40 мл.



Рисунок 6- Прибор для определения времени деэмульсации — МОСТ-1М

2.4 Исследование коррозионной активности масел. Коррозионная активность образцов турбинного масла определялась в соответствии с методикой ГОСТ 5985-79 и ГОСТ 981-75, с применением лабораторного оборудования типа ВТИ. Целью испытания являлась оценка влияния исследуемых составов масел на медные поверхности при высоких температурах. В качестве тест-материала использовались медные пластинки, соответствующие требованиям ГОСТ, прошедшие предварительную подготовку: зачистку, полировку и обезжиривание. Каждая пластинка помещалась в 20 мл исследуемого масла в специальный термостатируемый сосуд установки. Образцы выдерживались при температуре 100 °C в течение 3 часов. По окончании выдержки пластинки извлекались, промывались растворителем, высушивались и подвергались визуальной оценке степени коррозионного воздействия. Оценка проводилась по стандартной шкале, установленной ГОСТ 5985-79, где учитывались степень

потемнения, изменение блеска и наличие следов окисления. Испытания позволили определить, какие из присадок способствуют повышению антикоррозионной устойчивости. Образцы, содержащие ингибиторы коррозии, продемонстрировали наилучшую сохранность поверхности медных пластинок.

Установка ВТИ используется для определения коррозионной активности масел по отношению к медным сплавам (рисунок 7). Метод основан на выдерживании медной пластинки в испытуемом масле при определённой температуре и последующей визуальной оценке изменений поверхности.

В ходе испытания медная пластинка погружается в масло, и смесь выдерживается, как правило, в течение 3 часов при температуре 100 °С или 150 °С. После этого пластинка сравнивается с эталонной шкалой изменения цвета. Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 2917-76 и международным стандартом ASTM D130.



(а)



(б)

Рисунок 7- Установка ВТИ (а) для определения коррозионного действия масел на медную пластинку (б).

2.5 Определение кислотного числа

Определение кислотного числа проводилось в соответствии с ГОСТ 5985-79, методом потенциометрического титрования. Целью анализа было установление количества кислотных соединений в масляных пробах, выраженного в мг КОН, необходимого для нейтрализации кислот, содержащихся в 1 г масла. В ходе эксперимента использовались следующие условия: раствор титранта - 0,05 моль/дм³ гидроксид калия (КОН); объём образца - 2,0–2,5 мл масла; средний фактор титранта - $2,547 \pm 0,5$; индикатор: фенолфталеин или потенциометрический титратор.

После добавления растворителя и титранта проводилось титрование до изменения цвета (визуальный метод) или стабилизации потенциала. Затем раствор фильтровали через фильтровальную бумагу и рассчитывали кислотное число по формуле: $X = \frac{V \times T}{m}$, где: **V** — объём титранта, мл, **T** — фактор титранта, **m** — масса образца.

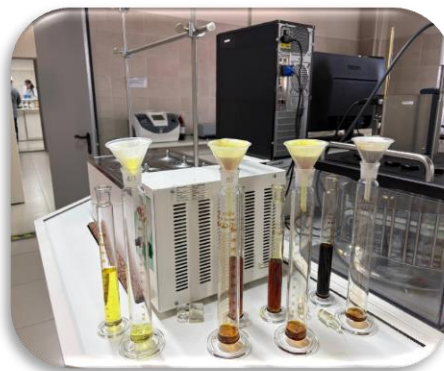
Данный метод позволил точно оценить степень окисления и наличие кислотных примесей в каждом образце масла.

На верхней фотографии представлена стадия фильтрации пробы после потенциометрического титрования (рисунок 8). Для удаления нерастворимых остатков использовалась фильтровальная бумага марки МФ, что обеспечивает чистоту анализируемой жидкости перед измерением объёма затраченного титранта. На нижнем изображении — готовые образцы после фильтрации, подготовленные для расчёта кислотного числа. Цвет раствора варьируется в зависимости от концентрации кислотных компонентов в исследуемом масле.

Процедура выполнялась согласно ГОСТ 5985-79, который предусматривает: отбор точного объёма пробы (обычно 10 мл масла), растворение в смеси растворителей (изопропанол + эфир), добавление индикатора или подключение потенциометрического титратора, титрование раствором 0,1 н. КОН до стабильной конечной точки, фильтрацию и анализ прозрачного раствора. Кислотное число рассчитывалось по объёму титранта, затраченного на нейтрализацию кислот, и выражалось в мг КОН на 1 г масла.



(а)



(б)



(г)



(д)

Рисунок 8- Этапы определения кислотного числа по ГОСТ 5985-79 (а,б,в,г)

2.6 ИК-спектроскопический анализ.

Для оценки химического состава и наличия функциональных групп в исследуемых образцах турбинных масел был проведён ИК-спектроскопический анализ. Спектры были получены в диапазоне $4000\text{--}500\text{ см}^{-1}$ с использованием метода пропускания. Спектрофотометр Cary 60 UV-Vis (Agilent Technologies, США) представлен на рисунке 9.

УФ-видимый спектрофотометр Cary 60 UV-Vis применялся для определения оптических свойств образцов в ультрафиолетовой и видимой областях спектра (190–1100 нм). Прибор работает на основе ксеноновой лампы, обеспечивает высокую точность измерений и подходит для жидких образцов, в том числе нефтепродуктов и масел. Использовался при проведении спектрофотометрического анализа.



Рисунок 9 - Спектрофотометр Cary 60 UV-Vis

3 Результаты и их обсуждения

Экспериментальный раздел данной дипломной работы посвящен исследованию деэмульгирующей способности турбинных масел в зависимости от их химического состава, типа используемых присадок и температурных условий. Этот вопрос имеет высокую практическую значимость, так как образование стабильных эмульсий в турбинных маслах негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках оборудования, приводит к ускоренному износу деталей и снижает теплоотдачу.

С теоретической точки зрения, эмульсии образуются в результате диспергирования воды в масляной среде под воздействием механических факторов и присутствия поверхностно-активных веществ. Образуется устойчивая межфазная пленка, которая предотвращает отделение воды. Для разрушения этой структуры используются деэмульгаторы - соединения, которые нарушают межфазные взаимодействия и ускоряют слияние капель воды. Таким образом, химия процесса деэмульгирования основана на физико-химическом разрушении границы раздела фаз.

Образование стабильных эмульсий в турбинных маслах является ключевой задачей для поддержания надежной работы оборудования, защиты от коррозии и продления срока службы смазочных материалов. В этом исследовании были изучены четыре образца масел с различными составами, в которых использовались различные деэмульгаторы и антиоксидантные присадки. Эксперименты проводились в аналитической лаборатории ТОО «ЛУКОЙЛ Лубрикантс Центральная Азия» с использованием приборов и методов, стандартизированных ГОСТом. Экспериментальный процесс исследования состоял из четырех ключевых этапов:

Экспериментальные данные были обработаны, сведены в таблицу 3 и проанализированы для выявления тенденций и зависимостей. Были построены графики, иллюстрирующие влияние состава и температуры на эффективность деэмульгирования. Выводы были сделаны на основе сравнительного анализа всех образцов. Самый эффективный образец-быстрое время деэмульсации: образец-1. Самая медленная отдельная эмульсия: образец-2 и 3 образцы.

Таблица - 3. Определение времени деэмульсации:

Параметр	1-я модель: 133	2-я модель: 134	3-я модель: 135	4-я модель: 213
Время деэмульсации	30 (сек)	90 (сек)	90 (сек)	60 (сек)

Первоначально образцы масел фильтровали, нагревали до 50°C и перемешивали магнитной мешалкой. Для получения модельных эмульсий добавляли воду и специальные реагенты. Фазовое разделение контролировалось прибором МОСТ-1М при температуре 20°C и 93°C. Регистрировалось время деэмульгирования и проводился физико-химический анализ масел, включая

определение вязкости, плотности и кислотного числа. Все результаты были запротоколированы и проанализированы после завершения тестирования. Вязкость всех образцов при 40°C составляла приблизительно 31,59 мм²/с, что указывает на однородный состав основы. Вязкость при 100°C варьировалась от 5,316 до 5,8749 мм²/с, причем образец 4 показал самое высокое значение, что свидетельствует о лучшей термической стабильности. Индекс вязкости еще раз подтвердил высокое качество масел. Один из образцов показал плотность 0,946 г/см³, что характерно для турбинных масел, хотя такие значения, как 0,083 г/см³, требуют проверки. В целом, полученные данные свидетельствуют о том, что масла с более высокой вязкостью демонстрируют лучшие тепловые характеристики, в то время как масла с более низкой вязкостью могут способствовать более быстрому отделению воды. Эти результаты подтверждают важную роль рецептуры и выбора присадок в деэмульгирующих свойствах турбинных масел.

Таблица - 4. Физические и реологические свойства

Образцы	Кинематическая вязкость при		Кислотное число мг КОН/г	Плотность г/см ³
	100°C	40°C		
1	5,537	31,5585	0,36	0,947
2	5,316	31,337	0,6	0,948
3	5,319	31,316	14,53	0,949
4	5,8749	30,887	8,5	0,946

В ходе экспериментального исследования были использованы следующие материалы и химические реагенты:

- *Базовые масла.* Использовались минеральные базовые масла марок SN-150 и HVI-6. Эти масла характеризуются высокой окислительной стабильностью, термостойкостью и хорошей совместимостью с присадками

- *Деэмульгатор:* Дипроксамин использовался в качестве активного компонента для разрушения водонефтяных эмульсий. Это поверхностно-активное вещество, эффективное в условиях термических и механических воздействий.

- *Дезактиваторы металлов:* Эти добавки были добавлены для нейтрализации ионов металлов, которые могут катализировать реакции окисления. Они способствуют долговременной стабильности и сохранению свойств масла при длительном использовании.

- *Антиоксидант:* Агидол-1 (ВНТ), стабилизатор фенольного типа, был использован в качестве антиоксиданта для предотвращения термической деструкции и окислительного разрушения масла.

- *Ингибиторы коррозии:* Ингибиторы коррозии были добавлены для защиты металлических деталей от ржавчины и коррозии, особенно в присутствии влаги и агрессивных сред.

Эти компоненты были смешаны в различных пропорциях в соответствии с лабораторными рецептурами, чтобы определить наиболее эффективный состав для повышения деэмульгирующих свойств и обеспечения стабильности работы масляных систем турбин.

Таблица-5. Обработка результатов. ГОСТ-981

Параметр	1-я модель: 133	2-я модель: 134	3-я модель: 135	4-я модель: 213
Кислотное число	0,36 (0,3мл)	0,6 (0,3мл)	14,53 (0,6мл)	8,5 (0,25мл)

Таблица-6 Сравнительный анализ моделей:

Параметр	1-я модель: 133	2-я модель: 134	3-я модель: 135	4-я модель: 213
неустойчивый	Средний, постоянный	Средний	Средний	Самый стабильный
Время дэмульсации	Самый быстрый-0,6г дипроксамин	Самый медленный	В среднем: 0,12г дипроксамина	Средний лучше чем 2-й модель
Стабильность состава нефти	нормальный	Вверх: Антиокислительная добавка	Вверх: Антиокислительная добавка	Высокий: Группа 3 базовые Масло+ Антиокислительная присадка

Образцы турбинных масел были изучены методом ИК- спектрометрии (рисунки 10-13). Сравнительный анализ ИК-спектров показывает наличие схожих функциональных групп во всех образцах, однако различия в интенсивности полос могут свидетельствовать о разной концентрации добавок и степени окисления.

На ИК-спектрах всех образцов наблюдаются характерные полосы поглощения:

2950 см^{-1} — валентные колебания связей С–Н в алканах;

1740 см^{-1} — колебания карбонильной группы С=О (признак сложных эфиров);

1460 см^{-1} — деформационные колебания CH_2 и CH_3 ;

720 см^{-1} — колебания, связанные с длинными цепями алканов (парафиновые углеводороды).

На ИК-спектрах образца ТП-30/980 (рисунок 10) наблюдаются характерные полосы поглощения при 2950, 1740, 1460 и 720 см^{-1} , что свидетельствует о присутствии насыщенных алканов и сложноэфирных соединений. Интенсивность полос указывает на умеренное содержание функциональных групп и возможное наличие начальных признаков окисления.



Рисунок 10 – ИК-спектр образца ТП-30/980

Спектр ТП-30/981 (рисунок 11) аналогичен по расположению полос, однако интенсивности, особенно в области 1740 см^{-1} , несколько выше по сравнению с предыдущим образцом. Это может говорить о большей концентрации сложноэфирных компонентов или о более активных процессах окисления.



Рисунок 11 – ИК-спектр образца ТП-30/981

ИК-спектр образца Т32 (рисунок 12) показывает четко выраженные полосы в тех же диапазонах. Высокая интенсивность на 2950 см^{-1} и 720 см^{-1} указывает на значительное содержание парафиновых углеводородов. Умеренное

значение при 1740 см^{-1} может свидетельствовать о меньшей степени окисления по сравнению с другими образцами.

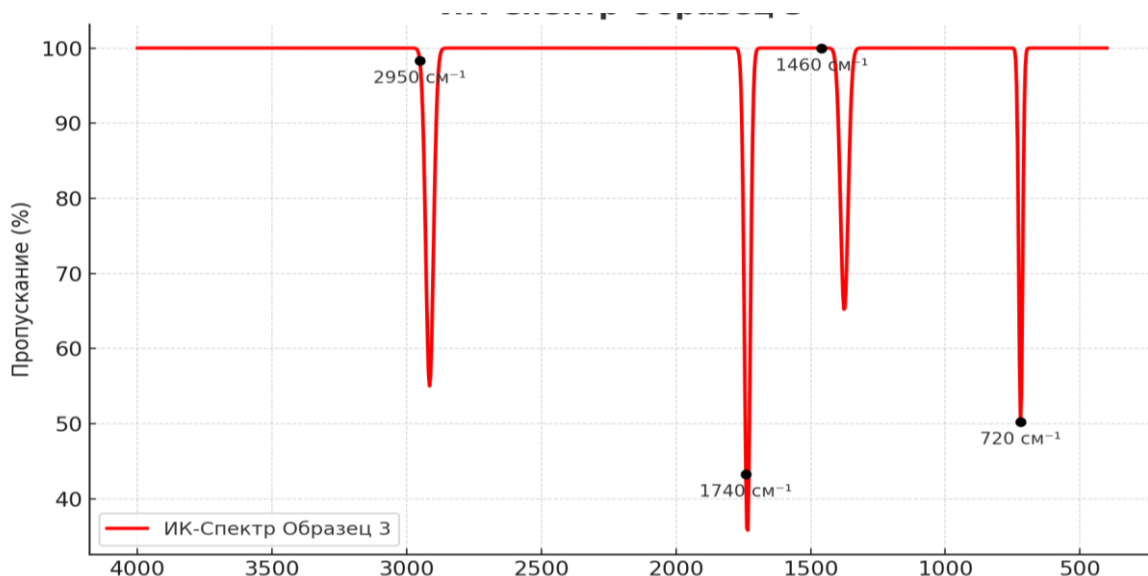


Рисунок 12 – ИК-спектр образца Т32

Спектр ТП-30/213 (рисунок 13) отличается высокой симметрией и стабильностью интенсивностей. Равномерность и четкость всех полос говорит о хорошо сбалансированном составе масла, с равномерным распределением алканов и сложнэфирных компонентов, что может свидетельствовать о стабильности образца и низком уровне окисления.

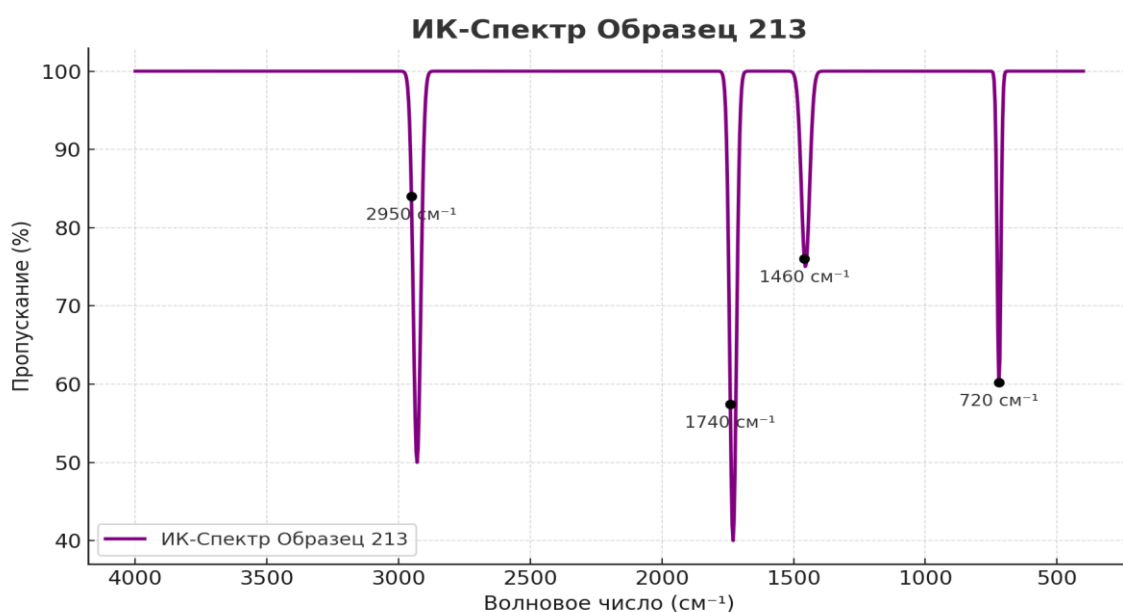


Рисунок 13 – ИК-спектр образца ТП-30/213

Образцы турбинных масел были изучены методом сканирующей микроскопии (рисунок 14). Судя по микрофотографиям образцы демонстрируют изменения микроструктуры в зависимости от состава масла. Поверхность без добавок имеет равномерное распределение фаз, тогда как после добавления присадок наблюдается частичное агрегирование фаз и образование микрокапель, свидетельствующее об изменении эмульсионных свойств.

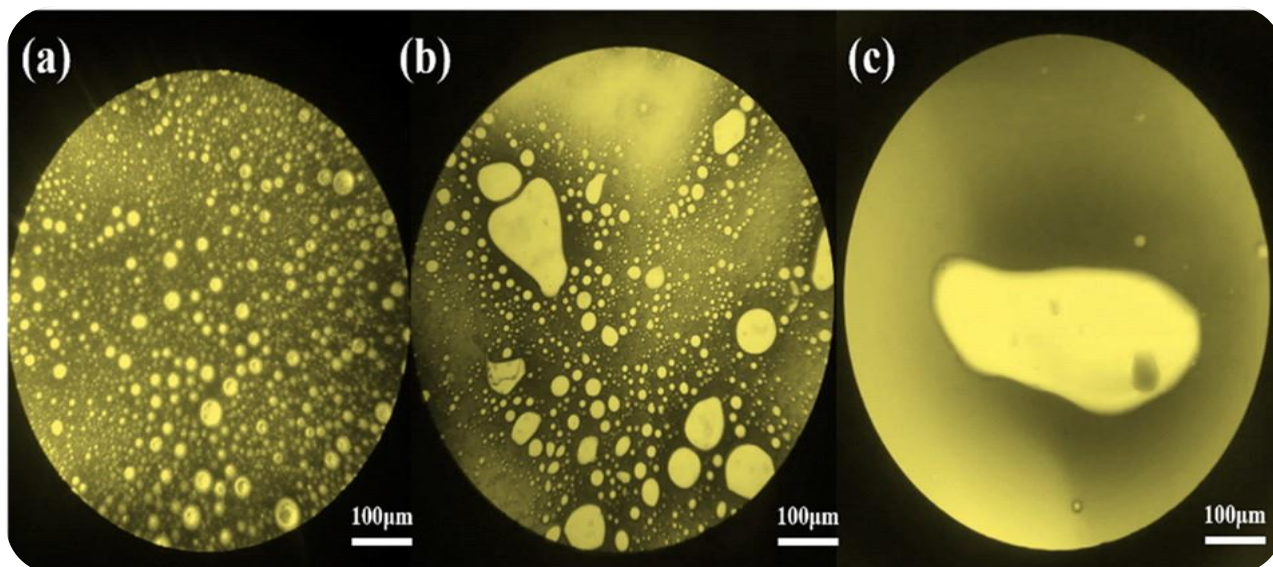


Рисунок 14 - СЭМ-микрофотографии поверхностной структуры турбинных масел (увеличение $\times 100$).

Образец (a) представляет собой смесь турбинного масла с деэмульгатором Дипроксамин-157. Состав: базовое масло + деэмульгатор (без антиоксидантов и ингибиторов коррозии). Кинематическая вязкость при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$: $5,387\text{ мм}^2/\text{с}$. Кислотное число: $30,887\text{ мг КОН/г}$. Плотность: ($\sim 0,873\text{ г/см}^3$)

На микрофотографии образца А видна частичная агрегация капель, свидетельствующая о начавшемся разрушении эмульсии, то есть добавление одного только деэмульгатора способствует дестабилизации эмульсии, но менее эффективно, чем комплексные присадки.

Образец (b) представляет собой смесь турбинного масла с деэмульгатором, а также с добавками антиоксиданта и ингибитора коррозии. Состав: базовое масло + деэмульгатор + антиоксидант + ингибитор коррозии. Кинематическая вязкость при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$: $5,337\text{ мм}^2/\text{с}$. Кислотное число: $31,558\text{ мг КОН/г}$. Плотность: $\sim 0,874\text{ г/см}^3$. Микроструктура: наиболее гомогенное разрушение микрокапель, свидетельствующее о высокой эффективности деструкции водно-масляной эмульсии. Судя по микрофотографиям образец b с полным комплексом присадок показывает лучшее время деэмульсации, минимальные остатки капель и высокий уровень разрушения эмульсии.

Третий образец на микрофотографии (c) является контрольным базовым маслом без каких-либо добавок. Состав: чистое базовое масло (без присадок).

Кинематическая вязкость при 100 °C: 5,8749 мм²/с. Кислотное число: 30,887 мг КОН/г. Плотность: ~0,876 г/см³.

Микроструктура: равномерное распределение фаз, наличие множества микрокапель, характерное для стабильной эмульсии. Таким образом, отсутствие присадок делает эмульсию устойчивой к разрушению, что подтверждает слабую деэмульгирующую способность масла.

Результаты экспериментов показали, что деэмульгирующая способность напрямую зависит от химического состава масла и типа используемых присадок. Образцы с более высоким содержанием полярных соединений показали более медленное отделение воды, в то время как композиции, содержащие активные деэмульгаторы, значительно ускорили процесс коалесценции. Кроме того, вязкость масла при 100°C коррелировала с термической стабильностью, но не всегда соответствовала эффективности деэмульгирования. Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что рецептура турбинного масла существенно влияет на его деэмульгирующие свойства. Правильный подбор присадок позволяет улучшить эксплуатационные качества масла, обеспечивая более длительную и надежную работу турбинного оборудования и сводя к минимуму риск образования устойчивой эмульсии в процессе эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе этого исследования была изучена взаимосвязь между составом турбинных масел и их деэмульгирующей способностью - важнейшим свойством, обеспечивающим безопасность эксплуатации и эффективность турбинных систем, подверженных загрязнению водой. В исследовании подчеркивалось, что различия в типах базовых масел, пакетах присадок и других компонентах рецептуры напрямую влияют на способность масла отделяться от воды, тем самым влияя на производительность и долговечность оборудования.

Полученные данные подтверждают, что деэмульгирующие свойства не определяются каким-либо отдельным компонентом; скорее, стабильность эмульсии и эффективность отделения воды определяются синергетическим эффектом всего состава. Таким образом, оптимизация турбинного масла для деэмульгирования требует сбалансированного подхода к рецептуре, учитывающего как защитные, так и разделительные функции.

- Деэмульсифицирующие свойства турбинных масел зависят от их состава, присадок, температуры и длительности использования.
- Минеральные масла обладают естественной способностью отделять воду, в то время как синтетические масла обладают долгосрочной стабильностью.
- Свойства разделения воды можно улучшить, используя специальные деэмульгаторы.
- Повышение температуры ускоряет распад эмульсии.
- Оптимизация состава масла может продлить срок службы оборудования и снизить затраты.

В заключение, исследование способствует более глубокому пониманию того, как состав турбинного масла влияет на эффективность водоотделения, и закладывает основу для будущих стратегий разработки рецептур, направленных на повышение надежности смазочных материалов в условиях, подверженных воздействию воды. Полученные результаты могут принести пользу разработчикам рецептур смазочных материалов, операторам установок и инженерам по техническому обслуживанию, что в конечном итоге повысит безопасность, производительность и экологичность работы турбин. В этом литературном обзоре подчеркивается важность проводимых исследований и инноваций в области деэмульгации моторных масел, освещаются как текущие проблемы, так и будущие возможности для разработки более эффективных, энергосберегающих и экологических решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Tharwat F. Tadros., Emulsions: Formation, Stability, Industrial Applications. Book 7 2016-1-2p.
2. Neeraj Bhatia, Siddharth Pandit, Shikha Agrawal, Dishant Gupta., A Review On Multiple Emulsions., International Journal of Pharmaceutical Erudition., Aug 2013, 3(2) , 22-23.
3. Dr. Robert M. Gresham., To chemically create quality lubricant from crude oil, manufacturers really have to use their noodles., Tribology & lubrication technology, April 2004
4. Vincent Gatto., The chemistry and function of lubricant additives., Tribology & lubrication technology., November 2017
5. N.A. Basher and A. Abdulkhabeer, Synthesis of novel demulsifier nano-materials and their application in the oil industry, Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.069>
6. Hepbasli A (2008) [A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future](#). Renew Sustain Energy Rev 12: 593-661
7. Lagerstedt J, Luttrupp C, Lindfors LG (2003) [Functional priorities in LCA and design for environment](#). Int J Life Cycle Assess 8: 160-166.
8. Ahmed A, Kandiel T, Oekermann T, Bahnemann D (2011) Photocatalytic activities of different well-defined single crystal TiO₂ surfaces: anatase versus rutile. J Phys Chem Lett 2:2461–2465
9. Ivanova T, Harizanova A, Koutzarova T, Vertruyen B (2011) Preparation and characterization of ZnO–TiO₂ films obtained by sol-gel method. J Non-Cryst Solids 357:2840–2845
10. Joe Yellow, ChengGong Khe, Fahad Usman, Yarima Mudassir Hasan, Chen Wei Lai, Ka Yeow Yeow, Jun Wei Lin и Kuan Sheng Khoo., Review on demulsification techniques for oil/water emulsion: Comparison of recyclable and irretrievable approaches., 10.1016/j.envres.2023.117840., 2023 Dec 9)
11. Ahmad A. Adewunmi, Muhammad Shahid Kamal, Said Muhammad, Shakil Hussain., Nonionic Demulsifier for Smart Demulsification of Crude Oil Emulsion at Room and Moderate Temperatures., Article November 25, 2024)
12. Zhang, Q., Wang, X., & Liu, H. (2022). Advances in turbine oil formulation: Challenges and innovations in high-temperature applications. Tribology International, 172, 107582. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107582>
13. Ahmad, M., Rehman, A., & Khan, M. S. (2021). Nanoparticle additives in lubricants: A review on tribological performance in turbine systems. Wear, 480–481, 203943. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203943>
14. Wang, C., & Zhou, F. (2020). Demulsification technologies for industrial lubricants: Current trends and future outlook. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 586, 124260. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124260>

15. Singh, J., & Patel, R. (2019). Use of biodegradable base oils in turbine lubrication systems: Performance evaluation and environmental benefits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 51–59.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.015>
16. Lee, S., & Park, Y. (2018). Smart monitoring of turbine oils using embedded sensor systems and machine learning. *IEEE Sensors Journal*, 18(14), 5847–5855.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2832600>
17. Kumar, V., & Sharma, P. (2021). Magnetic nanomaterials for enhanced demulsification of turbine oils. *Journal of Molecular Liquids*, 339, 116754.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116754>

48

Тоо аҥжыкоһи Үүһүрүмүтэ Цетрпалына Аһиһи

Акт выбраковки масла: Тройное масло

[illegible]

Составил:

*Важности приращок приведены среднестатистические

49

ТОО «ЛУКОИЛ Лубрикантс Центральная Азия»

Акты добытки масла: Турбинное масло

[illegible]

*Важности приращок приращены среднестатистические

Составил:

50

ТОО «ИУКОМ»-и бүрэлдэхүүн Ажир

(A)

Составили:

* Взято из публикации: *Экономический анализ* 2004. № 1.

Приложение Г

19.03.2025

Классификация масел. Трубное масло

ТОО «ЛУКОЙЛ Лубрикантс Центральная Азия»

FR

[illegible]

СОСТАВЛЕНИЕ

*Взвешенный индекс средних арифметических

Приложение Д



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
ЛЛК-Интернешнл

Паспорт качества № 2069-2-0225
Масло базовое ЛУКОЙЛ SN-150 Первый сорт
ТУ 0253-037-00044434-2003 с изм.1-6
Предназначено для изготовления масел

CMK сертифицирована:
ISO 9001



Декларация о соответствии ЕАЭС № RU Д-РУ.РА.01 В.20800/25
Срок действия: по 17.01.2028

Дата изготовления продукта 25.02.25
Дата отбора пробы по ГОСТ 2517-2012 25.02.25
Дата проведения испытаний 25.02.25
Дата выдачи паспорта 25.02.25
Номер партии Р-867
Место отбора пробы ВЦ
Размер партии 3 шт
ОКПД 2 19.20.29.180

№	Наименование показателя	ТР ТС 030/2012	Норматив ИД	Фактическое значение	Метод испытания
1	Плотность при 20 °С, кг/м³	-	TR	870,1	ASTM D4052
2	Плотность при 15 °С, кг/м³	-	TR	873,2	ASTM D4052
3	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм²/с	-	4,500-6,500	5,402	ASTM D445
4	Индекс вязкости	-	≥97	97	ASTM D2270
5	Температура вспышки в открытом тигле, °С	≥135	≥200	226	ГОСТ 4333
6	Температура застывания, °С	-	≤-15	-15	ГОСТ 20287.6
7	Массовая доля серы, %	-	≤0,500	0,370	ASTM D4294
8	Коксуемость, %	-	≤0,04	0,02	ГОСТ 8852
9	Цвет, ед. ЦМТ	-	≤100	62	ГОСТ 20284
10	Содержание воды, ppm	-	≤16,0	14,9	ASTM D6304 C
11	Испаряемость по методу Нойка, %	-	≤0,005	0,002	ASTM D5800 B
12	Зольность, %	-	≤0,030	Отсутствует	ГОСТ 1461
13	Массовая доля механических примесей, %	-	≤0,005	Отсутствует	ГОСТ 6370
14	Содержание ароматических соединений углерода (расчет), %	-	TR	6	DIN 51378
15	Содержание нафтеновых соединений углерода (расчет), %	-	TR	32	DIN 51378
16	Содержание парафиновых соединений углерода (расчет), %	-	TR	62	DIN 51378
17	Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %	-	≤3,0	1,0	IP 346
18	Внешний вид	-	Соответствует	Соответствует	Визуально
19	Температура самовоспламенения, °С	≥165	-	346	ГОСТ 12.1.044
20	Массовая доля воды, %	≤0,005	-	Отсутствует	ГОСТ 2477
21	Содержание селективных растворителей, %	≤0,3000	-	Отсутствует	ГОСТ 1057

TR - Не нормируется. Определение обязательно.
Внешний вид - Однородная прозрачная жидкость.

Испытания по показателям 1, 5-9, 11-12, 14-17, 19-21 проведены в ЦЗЛ ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», РФ, 614055, г. Пермь, ул. Промышленная, 84.

Приемщик: Направление: Кайрат, Контракт 19L0526, Вагоны 51616076, 55846081, 50751908.
Показатели качества для определения кодов ТН ВЭД

№	Наименование показателя	Фактическое значение	Метод испытания
1	Фракционный состав: Объемный процент отгона при 250 °С, %	1,0	ASTM D86
2	Фракционный состав: Объемный процент отгона при 350 °С, %	6,0	ASTM D86
3	Вязкость кинематическая при 50 °С, мм²/с	21,69	EN ISO 3104
4	Массовая доля сульфатной зольности, %	менее 0,005	ISO 3987
5	Число омыления, мг КОН/г	менее 2,0	ISO 6293-1
6	Температура потери текучести, °С	ниже 12	ISO 3016
7	Цвет по ASTM с разбавлением 1:100	1,05DI	ASTM D1500

Метод по показателям 1 и 2 не применим к данному продукту.
Содержание нефти и нефтепродуктов, полученных из битуминозных пород, составляет 70 % масс и более.

Производитель: ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», 614055, Россия, г. Пермь, ул. Промышленная, д. 84.

Распространитель: ООО «ЛЛК-Интернешнл» ТП в г. Пермь, 614055, Россия, г. Пермь, ул. Промышленная, д. 84.

Паспорт соответствует требованиям: ТУ 0253-037-00044434-2003 с изм.1-6 и ТР ТС 030/2012.

ОПАСНО! При попадании в глаза вызывает раздражение, на кожу - слабое раздражение. Использовать перчатки, слезоотгонку, защитные очки и средства индивидуальной защиты. ПРИ ПОПАДАНИИ В ГЛАЗА: осторожно промыть водой в течение нескольких минут. При необходимости обратиться за медицинской помощью. Больше подробная информация по безопасному обращению химической продукции находится в паспорте безопасности.

Хранить в герметично закрытой таре крышкой вверх, в местах, защищенных от действия прямых солнечных лучей, атмосферных осадков и иного неблагоприятного воздействия.

Лаборант:

Ершова

С.Н. Ершова

115035, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ
Замоскворечье, ул. Садовническая, д.75

тел.: +7 (495) 627-40-20
www.lukoil-masla.ru

Приложение Е



ТОВАРИЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ЛУКОЙЛ Лубрикантс Центральная Азия»

Адрес производства: Республика Казахстан, область
Алматы, район Илийский, сельский округ
Байсеринский, село Байсерия, территория Промзона, здание
1632
Тел. факс: +7 (727) 321-20-40; Web: lco.kz

ПАСПОРТ КАЧЕСТВА № 831-Р
Масло турбинное ЛУКОЙЛ Тп-30
СТ 2968-1910-06-ТООХИУ-071-2021

Предназначено для смазывания подшипников и вспомогательных механизмов турбоагрегатов, а так же для работы в системах регулирования в качестве гидравлической жидкости и в системах уплотнения в качестве уплотняющей среды

Дата изготовления
Номер партии
Дата отбора пробы по ГОСТ 2517-2012
Место отбора проб (емкость или вид тары)
Размер партии (взвешивание)
Дата проведения испытаний
Дата оформления паспорта качества

14.05.2024 г.
РС-2405-22
15.05.2024 г.
Ресервуар Т-61 1050
168 см
15.05.2024 г. - 17.05.2024 г.
17.05.2024 г.



Декларация о соответствии ЕАЭС
№ ЕАЭС КЗ 7500441 13 12 00642 от 29.04.2023
действует до 28.04.2025

№	Наименование показателя	Норма по ТР ТС 030/2012	Норма по ИД	Фактическое значение	Метод испытаний
1	Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с	—	в пределах 41,4-50,6	45,41	ГОСТ 33
2	Индекс вязкости	—	не менее 95	98	ГОСТ 25171
3	Кислотное число, мг КОН на 1 г масла	—	не более 0,5	0,29	ГОСТ 11362
4	Стабильность против окисления: массовая доля осадка, % кислотное число, мг КОН на 1 г	—	не более 0,01 0,5	0,01 0,19	ГОСТ 981 и п. 7.3 СТ
5	Зольность базового масла, %	—	не более 0,005	0,003	ГОСТ 1461
6	Время дестимуляции, с	—	не более 210	60	ГОСТ 12068
7	Антикоррозионные свойства: степень коррозии в дистиллированной воде	—	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 19199 и п. 7.4 СТ
8	Температура вспышки в открытом тигле, °С	не менее 135	не ниже 190	244	ГОСТ 4333
9	Температура застывания, °С	—	не выше минус 10	минус 12	ГОСТ 20287 (метод Б)
10	Температура текучести, °С	—	не выше минус 6	минус 9	ГОСТ 20287 (метод А)
11	Массовая доля серы в базовом масле, %	—	не более 0,8	0,51	ГОСТ 1437
12	Массовая доля механических примесей, %	не более 0,03	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 6370
13	Цвет, единицы ЦНТ	—	не более 3,5	1,0	ГОСТ 20284
14	Массовая доля воды, %	—	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 2477
15	Массовая концентрация фенола в базовом масле, мг/дм ³	—	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 1057
16	Плотность при 20 °С, кг/м ³	—	не более 895	873,3	ГОСТ 3900
17	Наличие водородсодержащих кислот и щелочей	—	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 6307
18	Стабильность против окисления в универсальном приборе массовая доля осадка, % кислотное число, мг КОН на 1 г масла	—	не более 0,03 0,40	0,01 0,27	ГОСТ 18136 и 7.5 СТ
19	Коррозионное воздействие на пластину из меди марки М2 по ГОСТ 859 при 100 °С в течение 3 ч, группа	—	не более 1	1	ГОСТ 2917
20	Температура самовоспламенения, °С	не менее 165	—	364	ГОСТ 12 1 044

Испытания произведены

по показателю 20 при декларировании в ИЛ ТОО «ЛУКОЙЛ Лубрикантс Центральная Азия», протокол № 41 от 27 апреля 2022 г.

Заявление: Продукция соответствует требованиям ТР ТС 010/2012 Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям» (Приложение 1) и СТ 2968-1910-06-ТООХИУ-071-2021 Масла турбинные нефтяные высокотемпературные. Технические условия.

Гарантийный срок хранения – 5 лет с даты изготовления в таре изготовителя при соблюдении условий транспортирования и хранения. Хранить отдельно от пищевых продуктов в герметично закрытой таре крышечкой вверх, в местах, защищенных от действия прямых солнечных лучей, атмосферных осадков и источников открытого огня.

Предупредительная маркировка и меры предосторожности по ГОСТ 31140. ОСТОРОЖНО! При попадании на кожу и в глаза вызывает раздражение. После работы тщательно мыть руки. ПРИ ПРОГЛАТЫВАНИИ: Немедленно обратиться за медицинской помощью. Не вызывать рвоту! ПРИ ПОПАДАНИИ НА КОЖУ: Немедленно снять всю загрязненную одежду, кожу промыть водой или под душем. ПРИ ПОПАДАНИИ В ГЛАЗА: Осторожно промыть глаза водой в течение нескольких минут. Снять контактные линзы, если Вы ими пользуетесь и если это легко сделать.

Продолжить применение газа. Более полная информация по безопасному обращению с химической продукцией находится в паспорте безопасности.



инженер-лаборант

А.А. Ким

Приложение И



ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка»

Юридический адрес: Российская Федерация, 400029, Волгоградская область, город Волгоград, улица 40 лет ВЛКСМ, 55.
E-mail: refinery@vnpk.lukoil.com; Телефон: +7(8442) 963-209 (отдел поставок)
+7(8442) 963-024 (испытательная лаборатория)

ПАСПОРТ ПРОДУКЦИИ №11.12501507

Масло базовое марки ЛУКОЙЛ ПVI-6, вид 2

ТУ 0253-049-00148599-2018

ОКПД: 19.20.29.180
Дата изготовления: 25.02.2025
Дата и метод отбора проб: 25.02.2025, ГОСТ 2517
Место отбора: Резервуар 69 н/б
Уровень наполнения (см): 1031
Масса нетто (т): 1333
Дата проведения анализа: 25.02.2025
Дата выдачи паспорта: 25.02.2025



ЕАЭС N RU Д-РУ Р401.В.74705/24
срок действия по 05.02.2027г.

ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка»

Наименование показателя	Норма по ТР	Норма по ТУ 0253-049-00148599-20	Фактический результат	Метод испытания
1 Вязкость кинематическая, мм ² /с: при температуре 40°C		не нормируется, определение обязательно	36,15	ASTM D 445
при температуре 100°C		5,500 - 6,500	6,088	
2 Индекс вязкости	не ниже 135	не менее 100	115	ASTM D 2270
3 Температура вспышки в открытом тигле, °C		не ниже 210	244	ГОСТ 4333
4 Температура застывания, °C		не выше минус 15	минус 17	ГОСТ 20287 (метод Б)
5 Массовая доля потерь на испарение методом НОАКА, %		не более 13	5,8	ASTM D 5800
6 Цвет, единицы ЦНТ		не более 0,5	0,5	ГОСТ 20284
7 Массовая доля серы, мг/кг		не более 30	менее 5	ГОСТ ISO 20884
8 Содержание воды, мг/кг		не более 100	43	ASTM D 6304
Массовая доля воды, %		отсутствие	отсутствие	ГОСТ 2477
9 Массовая доля механических примесей, %	следы	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 6370
10 Массовая доля селективных растворителей, %	не более 0,03	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 1057
11 Плотность, кг/м ³ , при 15 °C	не более 0,3	не нормируется, определение обязательно	849,9	ASTM D 4052
при 20 °C		не нормируется, определение обязательно	846,5	
12 Содержание парафино-нафтеновых углеводородов, % масс.		не менее 90	более 98	IP 469
13 Температура самовоспламенения, °C	не менее 165	не менее 165	338	ГОСТ 12.1.044

Примечание:

- Высоковязкий продукт, прошедший процесс гидроизодепарафинизации.
- Значение по показателю 13 "Температура самовоспламенения", гарантируется технологией производства и определено при декларировании в испытательной лаборатории ООО "Глобал Ресеч", Московская обл., г. Пушкино (регистрационный номер аттестата аккредитации РОСС RU.0001.21A.035), протокол испытания №23 от 29.01.2021 г.

Показатели качества для определения кодов ТП ВЭД ЕАЭС

Наименование показателя	Фактическое значение	Метод испытания
1 Фракционный состав: - перегоняется при температуре 250°C, % об. - процентное содержание отогнанного продукта при температуре 350 °C, включая потери, % об.	0 4,0	ASTM D 86 ISO 3405
2 Колориметрическая характеристика в растворе	10,5DI	ASTM D 1500
3 Кинематическая вязкость при 50 °C, мм ² /с	25,01	EN ISO 3104
4 Содержание сульфатной зольности	менее 0,005	ISO 3987
5 Индекс омыления	менее 2,0	ISO 6293-2
6 Температура потери текучести, °C	минус 14	ISO 3016

Замечание:

- Содержание нефти и нефтепродуктов, полученных из битуминозных пород, составляет 70% массе и более.
- Гарантийный срок хранения - 1 год с даты изготовления при соблюдении условий транспортирования и хранения. Транспортирование и хранение по ГОСТ 1510.
- Качество продукции соответствует требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 030/2012 "О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям" (Приложение I) и ТУ 0253-049-00148599-2018 с нзм. 1-6.
- Методы испытаний по ISO 3405 не применимы к данному продукту.
- Указанное значение по показателю 2 «Колориметрическая характеристика в растворе», определено после смешения 1 части (по объему) продукта со 100 частями растворителя, на основании Решения Совета ЕЭК от 14.09.2021 № 80.



Служба смены испытательной лаборатории

копия верна
опер. тов. Ср.
Головуев А.Ю. п.с.
26.02.2025

СД

/О.В. Сорова/



Приложение К

7	Испаряемость по Ноак / Noak evaporation rate	% масс. / % mass.	-	не более 8 / max 8	5,2	ASTM D 5800 (метод Б) / ASTM D 5800 (Method B)
8	Содержание механических примесей / Mechanical impurities content	% масс. / % mass.	не более 0,03 / max 0,03	отсутствие / absent	отсутствие / absent	ГОСТ 6370 / GOST 6370
9	Массовая доля воды / Water weight content	% масс. / % mass.	следы / traces	следы / traces	следы / traces	ГОСТ 2477 / GOST 2477
10	Внешний вид / Appearance	-	-	чистая прозрачная жидкость, без осадка от бесцветного до светло-желтого цвета / Clear transparent liquid without sediments. From colorless up to light yellow	чистая прозрачная жидкость, без осадка, светло-желтого цвета / clear transparent liquid without sediments, light yellow	Визуально / Visual
11	Цвет на колориметре ЦНТ / Color on colorimeter Dark Petroleum Product Color Units	ед. ЦНТ / Color number	-	не более 1,0 / max 1,0	менее 0,5 / < 0,5	ГОСТ 20284 / GOST 20284
12	Массовая доля серы / Sulphur weight content*	мг/кг / mg/kg	-	не более 10 / max 10	соответствует / compliance	ASTM D 2622
13	Содержание селективных растворителей / Selective solvents content**	%	не более 0,3 / max 0,3	не более 0,3 / max 0,3	— / —	ГОСТ 1057 / GOST 1057
14	Содержание насыщенных (парафино-нафthenовых) углеводородов / Saturated (paraffine-naphthenic) Hydrocarbons content***	% масс. / % mass.	-	не менее 90 / min 90	соответствует / compliance	ASTM D 2007

Примечание / Note.

* Показатель "Массовая доля серы" гарантируется технологией производства и определяется 1 раз в год, а также при необходимости, по требованию заказчика (потребителя). / Sulphur wt content is guaranteed by the process and measured once a year, and also at the Client's request.

** В соответствии с изменением № 1 к СТО 78689379-92-2023 показатель "Содержание селективных растворителей" не определяется в связи с тем, что масло базовое изопарафиновое ТАТНЕФТЬ VHVI-6 (TANECO base 6) получено в процессе каталитической изодепарафинизации и гидрофинишига, технология производства не предусматривает процесс селективной очистки масла / Pursuant to Amendment № 1 to Company Standard (СТО) 78689379-92-2023 the Selective solvents are not analyzed since Isoparaffin Base Oil TATNEFT VHVI-6 (TANECO base 6) was manufactured under the process of catalytic IsoDewaxing and HydroFinishing, and the process does not provide for selective oil treatment

*** Показатель "Содержание насыщенных (парафино-нафthenовых) углеводородов" гарантируется технологией производства и определяется 1 раз в год, а также при необходимости, по требованию заказчика (потребителя). / Saturated (paraffine-naphthenic) Hydrocarbons content is guaranteed by the process and measured once a year, and also at the Client's request.

Заключение: / Conclusion:

Качество продукта соответствует требованиям:

- Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 030/2012 "О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям";
- СТО 78689379-92-2023 с изменением №1. /
- The quality of product complies with the requirements:
- Technical Regulation of Customs Union TR CU 030/2012 "Requirements for the lubricating material, oil and special liquids";
- Company Standard 78689379-92-2023 as amended №1.

Дополнительная информация / Additional Information:

Масло базовое изопарафиновое ТАТНЕФТЬ VHVI-6 (TANECO base 6) предназначено для изготовления товарных масел, таких как универсальные всесезонные моторные масла, масла для промышленного оборудования, энергетические масла и др., а также для использования в качестве сырья для дальнейшей переработки.

Показатели в соответствии с письмами №1186/13-13 от 20.03.2015г., №1188/13-13 от 20.03.2015г., №1694/13-11/ВнСл от 20.09.2021г.:

1. Фракционный состав по ASTM D 86, % об.:

- при температуре 250 °C перегоняется: 1,0
- при температуре 300 °C перегоняется: 2,0
- при температуре 350 °C перегоняется: 6,0

2. Температура текучести по ISO 3016, °C: минус 12

3. Вязкость кинематическая при 50 °C по ISO 3104, мм²/с: 22,18

4. Цвет по ASTM D 1500, единицы ASTM: менее 0,5

5. В соответствии с пп. 11 п. 1 ст. 181 Налогового кодекса РФ масло базовое изопарафиновое ТАТНЕФТЬ VHVI-6 (TANECO base 6) получено в процессах каталитической депарафинизации и гидроизодепарафинизации.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу Зейнуллиной Санди Сериковны на тему: «Влияние состава на деэмульгирующую способность турбинных масел» по образовательной программе 6В07117 – *Химическая технология нефтегазохимической продукции*

Дипломная работа Зейнуллиной С.С. посвящена крайне актуальной и практически значимой проблеме — исследованию влияния компонентного состава турбинных масел на их способность к деэмульгированию, то есть к отделению водной фазы в процессе эксплуатации. Учитывая современные тенденции в развитии энергомашиностроения, ужесточение эксплуатационных требований к смазочным материалам, а также необходимость продления ресурса высокоточного и дорогостоящего турбинного оборудования, выбранная тема отвечает как производственным, так и научным вызовам современности.

Особую актуальность тема приобретает в контексте увеличения требований к экологической безопасности и ресурсосбережению — вопросы утилизации и повторного использования турбинных масел сегодня имеют стратегическое значение. Автор рассмотрены различные аспекты формирования и разрушения водомасляных эмульсий, предложен системный подход к изучению влияния базовых компонентов и присадок на свойства масел, выполнены экспериментальные исследования и дана практико-ориентированная интерпретация полученных результатов.

Работа логически структурирована, включает традиционные разделы: введение, обзор литературы, экспериментальная часть, обсуждение результатов, заключение и приложения. *Во введении* автор обоснованно раскрывает актуальность и практическую значимость исследования, формулирует цель, задачи, научную новизну и прикладную направленность. Формулировки точны, логичны и соответствуют заявленной теме. *Обзор литературы* охватывает широкий спектр источников, в том числе за последние годы. Особо отмечается глубина анализа механизмов эмульгирования и деэмульгирования, классификация эмульсий, факторы их стабильности и принципы разрушения. Автор выделяет как традиционные, так и современные (в том числе нанотехнологические, фотокаталитические и биологические) методы деэмульсации, что свидетельствует о высоком уровне осведомлённости и умении работать с научной информацией. Отдельного внимания заслуживает освещение вопросов экологической безопасности. *Экспериментальная часть* подробно описывает методы получения и модификации образцов масел, определение кислотного числа, коррозионной активности, деэмульгирующих характеристик, а также использование ИК-спектроскопии для структурной характеристики. Эксперименты выполнены корректно, с соблюдением методик и воспроизводимостью. Выбор методов анализа и подходов адекватен поставленным задачам. *Раздел обсуждения результатов* содержит корректную интерпретацию полученных данных. Автор выделяет влияние конкретных присадок, типа базового масла, а также

условий эксплуатации на эффективность деэмульгирования. Обосновано предлагаются рекомендации по направлению оптимизации состава масел в условиях повышенной влажности. *Заключение* содержит основные результаты, соответствует цели исследования и дает адекватную оценку перспектив применения результатов в промышленной практике.

Научная новизна дипломной работы заключается в комплексном подходе к исследованию эмульсионных свойств турбинных масел с учетом современных достижений в области коллоидной химии, реологии, трибологии и химии присадок.

Практическая значимость результатов очевидна: они могут быть использованы при разработке рецептур турбинных масел для энергетических установок, работающих в условиях повышенной влажности, а также в системах очистки и регенерации смазочных материалов.

Дипломная работа оформлена в соответствии с требованиями государственного стандарта. Текст изложен грамотно, с использованием профессиональной терминологии. Стиль научный, выдержан, без излишнего описательства. Иллюстративный материал (графики, таблицы, схемы) информативен и способствует лучшему восприятию материала. Список использованной литературы охватывает более 30 источников, включая отечественные и зарубежные научные статьи, монографии и нормативную документацию.

Однако по работе имеются следующие замечания:

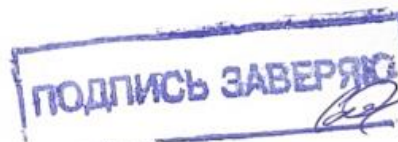
1. В результатах и обсуждении можно было бы привести сравнительные графики кинетики фазового разделения.
2. Было бы полезно дать краткую сводную таблицу с результатами по всем протестированным образцам масел с обобщенными выводами.

Эти замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки работы.

Старший преподаватель
кафедры ХИТОВ, ПС и П, PhD



Нурпеисова Ж.А.





Отчет подобия

Метаданные

Название организации
Satbayev University

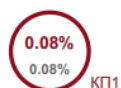
Название
Влияние состава на дезмульгирующую способность турбинных масел

Автор Научный руководитель / Эксперт
Зейнуллина Санди Сериковна Гульзат Айткалиева

Подразделение
ИГИНГД

Объем найденных подоби

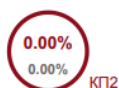
КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

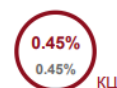
Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

10312

Количество слов



KC

88219

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		7
Интервалы		0
Микропробелы		14
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		0

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Mathematical modeling and dynamic simulation of a class of drive systems with permanent magnet synchronous motors Mikhov M.;	8 0.08 %

из базы данных RefBooks (0.08 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
Источник: Paperity		
1	Mathematical modeling and dynamic simulation of a class of drive systems with permanent magnet synchronous motors Mikhov M.;	8 (1) 0.08 %
из домашней базы данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из программы обмена базами данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из интернета (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---