



М И И Р И Х И М И И

И.В. Митин,
В.Н. Матвееenko,
И.И. Митина

Дезмульгируемость
и фильтруемость
индустриальных масел

Под общей редакцией
проф. В.Н. Матвееenko

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2025

УДК 665.7
ББК 35.514
М66

М66 Митин И.В., Матвеевко Н.В., Митина И.И.

Деэмульгируемость и фильтруемость промышленных масел

Под общей редакцией проф. В.Н. Матвеевко

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2025. – 184 с. ISBN 978-5-94836-739-2

Деэмульгируемость является одним из основных эксплуатационных показателей для масел металлургической промышленности. Приводятся данные о влиянии величины энергии Гиббса на активность деэмульгатора и деэмульгируемость масел. Изучен переход тепловой энергии в электростатическую и обратно за счёт образования и разрушения двойного электрического слоя в процессе адсорбции. Показано изменение поверхностного натяжения в процессе адсорбции. Приводятся данные о применении экспериментальных показателей энергии Гиббса при разработке масел типа ПЖТ для прокатных станов металлургической промышленности.

Книга предназначена для инженеров, занимающихся разработкой и исследованием промышленных масел, а также может быть полезна для аспирантов и студентов, изучающих проблемы химмотологии или смежные нефтехимические дисциплины.

УДК 665.7
ББК 35.514

Примечание: Авторами главы 6 являются И.В. Митин, Г.Д. Крюкова, Е.А. Богачева. На обложке представлено фото из каталога Новокраматорского машиностроительного завода.

© Митин И.В., Матвеевко Н.В., Митина И.И., 2025

© АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, 2025

ISBN 978-5-94836-739-2

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
---------------	---

ГЛАВА 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ И ОЦЕНКА ЕГО ВЛИЯНИЯ

НА ДЕЭМУЛЬГИРУЕМОСТЬ МАСЕЛ	8
1.1. Методы определения поверхностного натяжения	9
1.1.1. Метод наибольшего давления в пузырьке газа.....	9
1.1.2. Сталагмометрический метод — отрыва капли	9
1.1.3. Метод уравнивания пластинок	9
1.1.4. Метод висящей капли	10
1.1.5. Метод отрыва кольца.....	10
1.2. Поверхностное натяжение как критерий оценки ресурса масел	10
1.2.1. Поверхностное натяжение как показатель оценки КKM.....	13
1.2.2. Испытание компонентов масел.....	13
1.2.3. Испытание масел.....	14
1.2.4. Влияние полимера.....	18
1.2.5. Влияние обводнения масла на поверхностное натяжение	19
Выводы по разделу	21

ГЛАВА 2.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВОДЫ И ВЛИЯНИЕ

НА ДЕЭМУЛЬГИРУЕМОСТЬ. ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВОДЫ	22
--	----

ГЛАВА 3.

ОБВОДНЕНИЕ МАСЕЛ И ОБРАЗОВАНИЕ ЭМУЛЬСИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАСЕЛ

РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	32
----------------------------	----

ГЛАВА 4.

СТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ

ДЕЭМУЛЬГИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАСЕЛ И ТОПЛИВ.....	36
4.1. Стандарт ASTM D 1401-02	36
4.2. Стандарт ASTM D 2711.....	38
4.3. Методика Morgoil. Стойкость к динамической деэмульгируемости. UEC — Dynamic Demulsibility Endurance	39
4.4. Стандарт по ТУ 0253-034-00151911-06. Масла И..ПВ.....	39
4.5. Стандартные методы оценки деэмульгирующих свойств масел	40
4.5.1. ГОСТ 12337-84. Масла моторные для дизельных двигателей. Технические условия (действующий, дата актуализации 01.01.2021).....	40

4.5.2.	ГОСТ 12068-66. Масла нефтяные. Метод определения времени деземальсации. (действующий, дата актуализации 01.07.2023)	40
4.6.	Оценка деземальгирующих свойств судовых топлив	43
4.7.	Выводы по методам оценки деземальгируемости	43

ГЛАВА 5.

МЕТОД «ГАЗПРОМНЕФТЬ МЗСМ».

ОЦЕНКА ДЕЭМУЛЬГИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАСЕЛ ПО РАЗНИЦЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В СЛОЯХ МАСЛА И ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАЛОРИМЕТРА.....		44
5.1.	Сушность метода	44
5.2.	Дополнительное оборудование к аппаратуре метода ASTM D 1401.....	45
5.3.	Проведение испытаний	45
5.3.1.	Термостатирование и перемешивание. I этап испытаний	45
5.3.2.	Электронное фиксирование перепада температуры в специальном калориметре. II этап испытаний.....	47
5.4.	Расчет оценки деземальгирующих свойств масла по разнице температуры в слоях масла и воды в калориметре.....	47
5.5.	Контрольные испытания.....	48
5.6.	Оценка влияния процедуры проведения испытаний на точность измере- ний. Потери «холостого хода»	51
5.7.	Испытание товарных и опытных образцов масел	53
5.8.	Подготовительные и проверочные процедуры	54
5.8.1.	Промывка при испытании	54
5.8.2.	Продувка системы воздухом при испытании	54
5.8.3.	Проверка размеров установки термопар	54

ГЛАВА 6.

ДЕЭМУЛЬГАТОРЫ ДЛЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ	55
---	-----------

ГЛАВА 7.

ПЕНООБРАЗОВАНИЕ И ДЕАЭРАЦИЯ В МАСЛАХ.....		61
7.1.	Пенообразование	61
7.2.	Насыщение масла воздухом и деаэрация.....	70
7.3.	Краткие сведения о теории пенообразования и деаэрации	76

ГЛАВА 8.

ФИЛЬТРОВАНИЕ И ФИЛЬТРУЕМОСТЬ МАСЕЛ	77
8.1. Фильтрация	78
8.2. Центробежное фильтрация	79

8.3. Фильтрация с использованием фильтровального материала	80
8.4. Основные характеристики конструкции корпусов для фильтровальных картриджей и рукавов	81
8.5. Технологические схемы и фильтровальные установки	84
8.6. Ресурс и грязеемкость. Перепад давления.....	85
8.6.1. Предварительное фильтрование	87
8.7. Стандарты классов чистоты	89
8.8. Числовые коды для определения классов чистоты по ГОСТ ИСО 4407-2006	91
8.9. Измерение классов чистоты. ПКЖ-904А	93
8.10. Измерение классов чистоты с использованием микроскопа	94
8.11. Автоматические счетчики частиц	94
8.12. Оценка эффективности фильтра. Коэффициент β	96
8.13. Фильтруемость масел.....	101
8.14. Фильтруемость промышленных масел.....	104
8.14.1. Метод Денисона	105
8.14.2. Метод AFNOR filtration	106
8.14.3. Метод ISO 13357	106
8.14.4. Определение фильтруемости масел	107
8.14.5. Выводы по оценке фильтруемости	114

ГЛАВА 9.	
ХАРАКТЕРИСТИКА И СВОЙСТВА	
ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ НА ПРОИЗВОДСТВЕ,	
ВЛИЯНИЕ НА ДЕЭМУЛЬГИРУЕМОСТЬ	115

ГЛАВА 10.	
ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ ПРОКАТА. ФИЗИЧЕСКАЯ АДСОРБЦИЯ	119

ГЛАВА 11.	
ОБВОДНЕНИЕ МАСЕЛ ПЖТ ПРИ ПРОКАТЕ.....	125

ГЛАВА 12.	
ПРОИЗВОДСТВО И ВИДЫ ПРОКАТА.	
ТРЕНИЕ, НАГРУЗКА И СКОРОСТЬ ПРОКАТА,	
СХЕМЫ СИСТЕМ СМАЗКИ.....	129
12.1. Выпуск прокатной стали	129
12.2. Характеристика процесса прокатки.....	129
12.3. Трение, смазка, охлаждение, скорость при прокатке.....	133
12.4. Горячий прокат	134
12.5. Холодный прокат	135
12.6. Скорость прокатки	136
12.7. Типичные системы смазки прокатных станов.....	137

ГЛАВА 13.

МАСЛА И ПОДШИПНИКИ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ141

13.1. Конструкция подшипников ОАО «ЭЗТМ»	144
13.2. Определение несущей способности масел для ПЖТ	145
13.3. Подшипники Morgoil	146
13.4. Материал подшипников.....	148
13.5. Коррозия подшипников.....	148
13.6. Оценка антикоррозионных свойств баббита в маслах	149
13.7. Объем выпуска масел для ПЖТ в России.....	149
13.8. Основные марки масел для ПЖТ.....	150
13.9. Применение масел ПЖТ в зависимости от вязкости.....	151
13.10. Требования к маслам по ТУ 0253-034-00151911-06 «Масла И..ПВ для ПЖТ прокатных станков»	152
13.11. Требования к маслам ПЖТ по спецификации Morgoil.....	154
13.12. Требования к маслам ПЖТ по спецификации Danieli.....	157
13.13. Требования к маслам ПЖТ по спецификации NO-TWIST	160
13.14. Задачи по разработке масел ПЖТ с улучшенными характеристиками	162

ГЛАВА 14.

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО МАСЛА ПЖТ163

14.1. Характеристика масел Shell и ExxonMobil.....	163
14.2. Характеристика масла И-ПВ	166
14.3. Оценка деструкции масла И-ПВ.....	167
14.4. Разработка современного масла ПЖТ	168
14.4.1. О проблеме разработки современного масла ПЖТ	172

Заключение.....174

Литература175

ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленность не может существовать без смазочных материалов, смазка применяется во всех узлах трения механизмов. Разработка различного вида новых смазочных материалов проводилась одновременно с развитием промышленности. Среди смазочных материалов больше половины их производства приходится на моторные и индустриальные масла. Масло представляет собой дисперсную систему, состоящую из двух фаз, базовый компонент выступает как дисперсионная среда, а дисперсной фазой являются присадки, поверхностно активные вещества (ПАВ), вода, механические примеси, продукты окисления и износа. Особенности дисперсных систем изучает коллоидная химия — наука о дисперсных системах и поверхностных явлениях, таких как поверхностное натяжение, адсорбция, адгезия, образование двойного электрического слоя, которые влияют на процессы добычи и переработки нефти, а также на производство и эксплуатацию смазочных материалов.

ГЛАВА I

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ И ОЦЕНКА ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ДЕЭМУЛЬГИРУЕМОСТЬ МАСЕЛ

Как уже говорилось ранее, энергия, затраченная на образование эмульсии, концентрируется на границе раздела фаз в виде поверхностной энергии Гиббса. В силу избытка поверхностной энергии сама эмульсия является термодинамически неустойчивой системой. Система может самопроизвольно перейти в неустойчивое состояние под действием температуры или деэмульгаторов, таким образом происходит разрушение эмульсии. На процесс разрушения эмульсии основное влияние оказывает поверхностная энергия Гиббса, которая напрямую связана с поверхностным натяжением на границе раздела двух фаз. Поверхностное натяжение — это энергия на поверхности раздела двух фаз, которая может изменяться в силу различных факторов.

Способность изменять уровень поверхностного натяжения является мерой поверхностной активности вещества (деэмульгатора) и определяется как его свойствами, так и природой веществ, которые образуют поверхность раздела двух фаз, на которой происходит адсорбция. Деэмульгаторы должны обладать высокой поверхностной активностью и низкой стабилизирующей способностью. Основным назначением деэмульгаторов является функция разрушения устойчивых эмульсий с водой.

Поверхностное натяжение является основным фактором, влияющим на деэмульгируемость масел. Поэтому исследование факторов, влияющих на поверхностное натяжение и, соответственно, на деэмульгируемость масел, является одной из важных задач при разработке масел для подшипников жидкостного трения (ПЖТ).

Сам термин и понятие «поверхностное натяжение жидкостей» обосновал в теории капиллярности венгерский математик Янош Сегнер в 1752 году. С тех пор практически до 1983 года, считалось, что поверхностное натяжение жидкостей является просто физическим показателем. Как правило, говорилось, что поверхностное натяжение — это энергия, необходимая на разрыв единицы поверхности. В работах по исследованию изменения поверхностного натяжения начиная с 1983 года эти изменения поверхностного натяжения уже рассматриваются как изменение энергии.

При измерении тепловой энергии было установлено, что показатель деэмульгируемости зависит от поверхностного натяжения, это также подтверждалось и другими исследованиями [1–4]. Поэтому было осуществлено широкое исследование, чтобы установить изменение поверхностного натяжения в зависимости от состава масла и его компонентов. В ходе исследований был рассчитан показатель ККМ, исследовалось поверхностное натяжение деэмульгаторов, эмульгаторов, антипенных присадок, а также было изучено изменение поверхностного натяжения в зависимости от обводнения масла.

Рассмотрим вначале стандартные методы оценки поверхностного натяжения, которые получили широкое применение.

1.1. Методы определения поверхностного натяжения

При проведении исследовательских работ и при контроле выпускаемой продукции применяются различные методы, из них наиболее широкое применение получили: метод наибольшего давления в пузырьке, сталагмометрический, отрыва кольца, уравнивания пластины. В промышленности чаще всего применяют метод отрыва кольца [5–8].

1.1.1. Метод наибольшего давления в пузырьке газа

Образование газовых пузырьков (метод П. А. Ребиндера). Метод основан на измерении давления, при котором происходит отрыв пузырька газа (воздуха), выдуваемого в жидкость через капилляр. При медленном продавливании пузырька из капилляра в жидкость в нем возникает избыточное внутреннее давление Δp которое, согласно закону Лапласа, определяется поверхностным натяжением σ и кривизной поверхности пузырька.

1.1.2. Сталагмометрический метод – отрыва капли

Определяется вес капли, которая отрывается из капилляра. Считается, что при отрыве вес капли P_k уравнивается силой, равной поверхностному натяжению по длине окружности капилляра радиусом r_o , тогда

$$P_k = 2r_o \sigma / k, \quad (11)$$

k – поправочный коэффициент.

Метод широко распространен в учебных заведениях из-за простых операций и расчетов.

1.1.3. Метод уравнивания пластины

Пластина шириной h (метод Вильгельми), приведенная в контакт с жидкостью, смачивается или не смачивается по обе стороны. Затем прикладывается сила F , которой сопротивляется поверхностное натяжение жидкости:

$$\sigma = F/2h. \quad (12)$$

1.1.4. Метод висящей капли

Определение поверхностного натяжения производилось в комплексе методов оценки поверхностных свойств на приборе EasyDrop (KRÜSS GmbH, Германия) с программным обеспечением DSA1, позволяющим рассчитывать краевой угол смачивания поверхности, поверхностное натяжение жидкости и свободную энергию поверхности (СЭП) посредством анализа формы оцифрованного изображения капель. Прибор включает в себя объектив с возможностью шестикратного увеличения, видеокамеру, источник света, предметный столик, систему дозирования исследуемой жидкости. По данным краевых углов смачивания и поверхностных натяжений рассчитывается величина работы адгезии по уравнению Дюпре-Юнга. Учитывая комплексную оценку показателей жидкостей, включая адгезию, этот метод получил широкое применение в исследовательских организациях [9].

1.1.5. Метод отрыва кольца

Измерение поверхностного натяжения производится статическим способом отрыва кольца дю Нуи. Сущность метода вытекает из названия. Измеряют силу F , необходимую для отрыва проволочного кольца от поверхности жидкости. Отрыв кольца происходит в тот момент, когда сила поверхностного натяжения, удерживающая кольцо, и вес поднятой жидкости уравниваются. Максимальное усилие отрыва кольца измеряют при помощи тензиометра дю Нуи:

$$F = 4\pi r_k \sigma / k, \quad (13)$$

k -поправочный коэффициент, учитывающий форму столба вытягиваемой жидкости, или постоянная прибора для данного кольца при неизменном натяжении нити.

Способ измерения поверхностного натяжения назван в честь автора разработки метода Пьера Леконта дю Нуи (1883–1947) – французского математика, биофизика, философа и публициста.

Метод получил широкое распространение в промышленности. В России 60 лет выпускается прибор ВН 5504 М, который массово применяют на электростанциях при оценке ресурса трансформаторных масел. Прибор отличается простотой конструкции. Состоит из стойки, коромысла, чашки и держателя, не содержит ни одной электронной детали.

1.2. Поверхностное натяжение как критерий оценки ресурса масел

Коэффициент поверхностного натяжения σ с давних пор использовался для оценки качества энергетических масел. В качестве примера можно привести цитату из работ известного ученого в области смазочных материалов Дж. Фитча: «В конце концов, тесты для дезмульгирования (ASTM D 1401, ASTM D 2711), пенообразование (ASTM D 892) и отделение воздуха (ASTM D 3427) – все они зависят от поверхностного натяжения, и поверхностное натяжение восходит к первым дням разработки смазочных материалов». Далее он приводит цитату из книги Уильяма Дж. Форбса (1943) «Смазка промышленной и морской техники»: «...Многие ис-



Таблица 1. Нормы изменения поверхностного натяжения трансформаторного масла

Этапы	Состояние масла	Поверхностное натяжение, σ , мН/м
1	Свежее	не менее 40 мН/м
2	Работавшее	допускается 28 мН/м
3	Требуется замены	менее 22 мН/м
Рекомендуется замена масла от напряжения трансформатора, кВт		
3.1	Менее 35	не менее 10
3.2	От 35 до 70	не менее 12
3.3	От 70 до 150	не менее 15
3.4	Выше 150	не менее 20

следования показали, что изменения поверхностного натяжения нефти является самым ранним признаком загрязнения или окисления. Определение межфазного натяжения является наиболее ценным тестом, который может быть использован для оценки турбинного масла» [10].

Первыми в России начали оценивать качество масел с использованием показателей поверхностного натяжения энергетики, они установили нормы изменения поверхностного натяжения при эксплуатации трансформаторного масла. Изменения показателей трансформаторного масла регламентируются СТО 56947007-29.180.010.070-2011. В этом СТО даются методические указания по определению поверхностного натяжения трансформаторных масел методом отрыва кольца по ИСО 6295 или по ГОСТ 5985-79 [11]. Снижение поверхностного натяжения объясняется ростом концентрации в масле растворенной воды, кислых и окисленных полярных продуктов старения бумажной изоляции и масла, коллоидных соединений металлов конструкционных материалов и других загрязнителей. Этот стандарт также устанавливает допустимые нормы изменения поверхностного натяжения в зависимости от мощности трансформатора. Так, например, для свежего масла устанавливается норма не менее 40 мН/м. Для трансформатора мощностью 150 кВт при достижении 20 мН/м масло необходимо заменить (табл. 1) [12].

Наглядное представление изменения поверхностного натяжения трансформаторного масла во время эксплуатации представлено на диаграмме. Все время службы масла делится на две зоны. Зона №1 – это область работы масла, когда в масле действуют антиокислительные присадки. После срабатывания антиокислительных присадок начинается интенсивный рост кислотного числа, эту зону обозначают как зона №2. За период эксплуатации поверхностное натяжение масла снижается от 40 до 20 мН/м (рис. 1) [13].

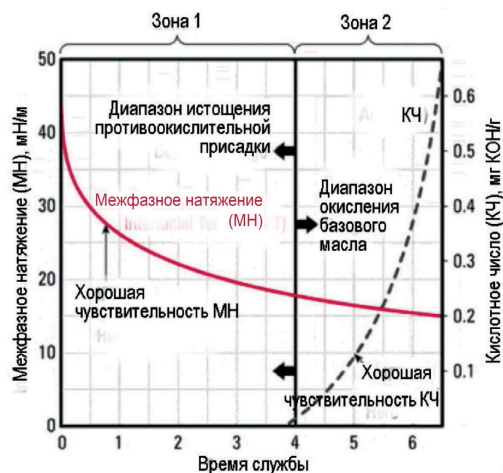


Рис. 1. Изменение межфазного натяжения (МН) трансформаторного масла в период эксплуатации [15]

Таблица 2. Браковочные показатели при замене импортного турбинного масла [13]

Оценочные параметры	Средние показатели для замены масла
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	При повышении вязкости на 20 %
Кислотное число, мг КОН/г	При достижении показателя 0,5 мг КОН/г
Поверхностное натяжение, дин/см	При снижении на 50% от показателя нового масла, или при достижении 15 мДж/м ² (дин/см)

ЕЭС предусматривает проверку поверхностного натяжения у импортных трансформаторных масел другим документом – «РД 34.43.201-88 – Типовая инструкция по контролю качества и применению импортных трансформаторных масел» (утверждена Минэнерго в 1988 году). Поверхностное натяжение свежего импортного масла должно быть не менее 40 мН/м [14].

Кроме трансформаторного масла энергетики по требованию поставщиков определяют изменение поверхностного натяжения импортных турбинных масел. Энергетики в дополнение к типичным браковочным показателям, таким как повышение вязкости и кислотное число, устанавливают норму изменения поверхностного натяжения в период эксплуатации не менее 15 мДж/м² (дин/см). По их разъяснению, в период эксплуатации турбинного масла при снижении поверхностного натяжения до 15–20 мДж/м² (дин/см) возникает опасность накопления осадков, и поэтому необходима замена масла (табл. 2).

При эксплуатации в паровых турбинах электростанций стандартного турбинного масла Тп-22С (ТУ 38.101821-83) периодически возникают проблемы с деэмульгируемостью. Разработчик этого масла – ВНИИНП – рекомендовал проверять наличие и концентрацию деэмульгатора по величине поверхностного натяжения. При необходимости при эксплуатации в работавшее масло необходимо было добавлять расчетное количество деэмульгатора. Дальше рекомендаций процесс контроля не пошел, никаких стандартов выпущено не было.

Сами энергетики значительно продвинулись в этом направлении. Под руководством Московского энергетического института (МЭИ) энергетики провели опытные работы по контролю состояния турбинных масел при эксплуатации с помощью приборов, определяющих поверхностное натяжение на работающих агрегатах. По показателю поверхностного натяжения контролировалось наличие в маслах и рабочих средах вредных примесей. Вредными примесями являются ПАВ, которые изменяют поверхностное натяжение масла в эксплуатации. Непрерывный контроль поверхностного натяжения осуществляется специальными устройствами. В основе разработки устройства положено соотношение, позволяющее определить значение коэффициента поверхностного натяжения в условиях статической и динамической поверхности раздела фаз. Контроль осуществляется на ТЭЦ-22, ТЭЦ-23 ОАО «Мосэнерго», на Шатурской и Приморской ГРЭС. Испытания проводились на стадии опытных работ, в эксплуатацию эта методика пока не внедрена [15].

Опыт контроля масел в период эксплуатации трансформаторных и турбинных масел по показателю поверхностного натяжения показал его высокую эффективность. На основании этого опыта были проведены испытания с целью оценки по этому показателю состояния индустриальных масел типа ПЖТ как при разработке, так и в период эксплуатации.

1.2.1. Поверхностное натяжение как показатель оценки ККМ

Оптимальную концентрацию деэмульгатора в масле обычно определяют по показателю критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Сам показатель ККМ легче всего определять по изменению поверхностного натяжения, изменяя концентрацию деэмульгатора в масле. ККМ определяют по той точке, которая соответствует излому на кривых зависимостей свойств растворов от концентрации. При достижении ККМ в системах образуются устойчивые мицеллы. Выше ККМ весь избыток ПАВ в основном находится в виде мицелл в растворе [4, 16, 17, 18].

Поверхностное натяжение определялось с помощью тензиометра DST 60M (производство компании Surface & Electro-Optics Corporation, Южная Корея). Наличие в приборе камеры с циркуляционным криотермостатом RW-0525G позволяет определять показатели в диапазоне температур от 20 °С до 150 °С. Измерение поверхностного натяжения производится статическим способом отрыва кольца дю Нуи. Сущность метода вытекает из названия. Платиновое кольцо на тензиометре погружают и поднимают из жидкости, смачивающей его. Усилие отрыва и есть сила поверхностного натяжения. Погрешность измерения равна $\pm 1\%$.

Прибор позволяет определять поверхностное натяжение в соответствии с ASTM D 971, или ГОСТ Р 50003-92, или ISO 304-85. Внешний вид прибора в комплекте с криотермостатом представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид тензиометра DST 60M в комплекте с криотермостатом RW-0525

Для испытаний брались компоненты, которые используются при производстве масел, сами товарные и опытные образцы турбинных масел, масел ПЖТ, различные образцы деэмульгаторов, эмульгаторов, антипенных присадок. Основное внимание было уделено товарным и опытным образцам масел Тп-22С и ПЖТ.

1.2.2. Испытание компонентов масел

Перед началом испытаний масел провели определение поверхностного натяжения всех основных компонентов: базовых синтетических и минеральных масел, деэмульгаторов, антипенных присадок и одного эмульгатора. Величина поверхностного натяжения воды (σ), как полярной жидкости с сильным межмолекулярным взаимодействием, имеет высокое значение, равное $72,5 \cdot 10^{-3}$ н/м, а для всех остальных, слабополярных, — от $19 \cdot 10^{-3}$ до $30 \cdot 10^{-3}$ н/м. Самые низкие значения отмечены у антипенных присадок (табл. 3).

Таблица 3. Поверхностное натяжение основных компонентов испытанных масел

№	Наименование компонентов	Поверхностное натяжение при 50 °С, н/м
Основные компоненты		
1	Вода дистиллированная	$72,856 \cdot 10^{-3}$
2	Турбинное масло Тп-22С	$27,751 \cdot 10^{-3}$
3	Масло И460ПВ для ПЖТ прокатных станов. Стандартный пакет присадок	$29,256 \cdot 10^{-3}$
4	Дистиллятный компонент SN 150 (ЯНОС), кинематическая вязкость при 100 °С равна 5,32 мм ² /с	$28,753 \cdot 10^{-3}$
5	Синтетический компонент полиальфаолефин РАО-4, кинематическая вязкость при 100 °С равна 4,08 мм ² /с	$27,257 \cdot 10^{-3}$
6	Остаточный компонент BS (ЯНОС), кинематическая вязкость при 100 °С равна 22,94 мм ² /с	$30,794 \cdot 10^{-3}$
7	Масло гидрокрекинга Ultra S4, кинематическая вязкость при 100 °С равна 4,28 мм ² /с	$28,242 \cdot 10^{-3}$
Антипенные присадки		
7	ПМС-200А	$19,851 \cdot 10^{-3}$
8	Infineum C9496	$21,599 \cdot 10^{-3}$
9	Synative AC AMH2, не повышает деаэрацию	$22,405 \cdot 10^{-3}$
Деземальгаторы		
10	Деземальгатор Д-157	$24,775 \cdot 10^{-3}$
11	Деземальгатор LZ 5172	$24,593 \cdot 10^{-3}$
12	Деземальгатор RC ADDITIN M 10.394	$24,568 \cdot 10^{-3}$
13	Деземальгатор Synative PE 10.100, нерастворимый в воде	$27,214 \cdot 10^{-3}$
Эмьальгатор		
14	Эмьальгатор ВТ-1, маслорастворимый	$30,367 \cdot 10^{-3}$

1.2.3. Испытание масел

Испытывались масла следующих производителей:

- Масло индустриальное «Газпромнефть И460ПВ», опытный образец.
- Масла для ПЖТ прокатных станов, три класса вязкости: И46ПВ, И220ПВ, И460ПВ, ОАО «СвНИИ НП», по ТУ 0253-034-001519111-06.
- Масла циркуляционные для высокоскоростных прокатных станов, пять классов вязкости: 100, 150, 220, 320, 460, ООО «Роснефть-смазочные материалы», по ТУ 0253-049-44918199-2007.
- Импортное масло Shell Vitrea M220.
- Турбинное масло Тп-22С по ТУ 38.101821-2001.

Опытные образцы масел ПЖТ отличаются от стандартного И469ПВ использованием импортных пакетов присадок и деземальгаторов.

Таблица 4. Краткие типичные характеристики масел серии ПЖТ, Тп-22С

№	Показатели	Типичные показатели			
		И460 ПВ	ТНК ПЖТ 546	Опытное ПЖТ 460	Тп-22С
1	Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с	460	460	460	32
2	Индекс вязкости, не менее	90	95	92	95
3	Кислотное число, мг КОН/г	+	+	+	+
4	Температура вспышки (О.Т.), °С	+	+	+	+
5	Температура застывания, °С	+	+	+	+
8	Пенообразование	+	+	+	—
9	Стабильность против окисления	+	+	+	+
10	Деэмульгируемость, мин	30	30	30	—
11	Время деэмульсации, с, не более	—	—	—	180

Примечание: (+) – соответствует нормам, определяется, нормируется

Таблица 5. Сведения о составе масел серии ПЖТ, Тп-22С

№	Компоненты	Состав, %			
		И460 ПВ	ТНК ПЖТ 546	Опытн. ПЖТ 460	Тп-22С
1	Агидол-1	1,0	—	—	0,9
2	Иргамет-39	0,02	—	0,01	0,02
3	В-15/41, антиржавейная	—	—	—	0,03
4	Д-157, деэмульгатор	0,02	—	—	0,02
5	LZ 5172, деэмульгатор	—	0,01	—	—
6	Олеиновая кислота Б-11	0,2	0,2	0,2	—
7	Infineum C9496	0,002	0,002	—	—
8	Irgalub ML605A	—	—	1,4	—
9	Irgalub 349	—	—	0,01	—
10	Irgamet 30	—	—	0,01	—
11	LZ 5915, масс. %	—	0,45	—	—
12	LZ 3229, масс. %	—	4,5	—	—
13	Oppanol B15, масс. %	0,6	—	0,6	—
14	Базовое масло	до 100%			

На начальном этапе были испытаны товарные образцы масел Тп-22С и И460ПВ. Испытывалось турбинное масло Тп-22С по ТУ 38.101821-2001, кинематическая вязкость масла при 40 °С была порядка 32 мм²/с. Масла ПЖТ и И460ПВ по ТУ 0253-034-001519111-06 имели кинематическую вязкость масла при 40 °С порядка 460 мм²/с. Состав и типичные показатели масел соответствовали данным, указанным в табл. 4, 5.

Коэффициент поверхностного натяжения σ определялся в диапазоне температур от 20 °С до 90 °С. Изменение коэффициента σ для масла Тп-22С проходило как для идеальной жидкости: от 20 °С до 90 °С зависимость линейная, масло яв-

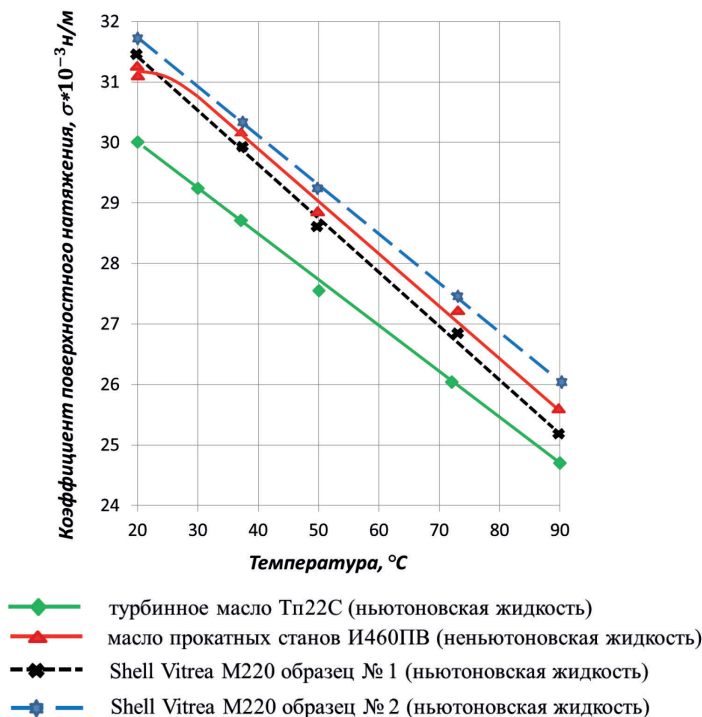


Рис. 3. Изменение поверхностного натяжения (σ) товарных масел Тп-22С и масел прокатных станов И460ПВ, Sell Vitrea M220 в зависимости от температуры

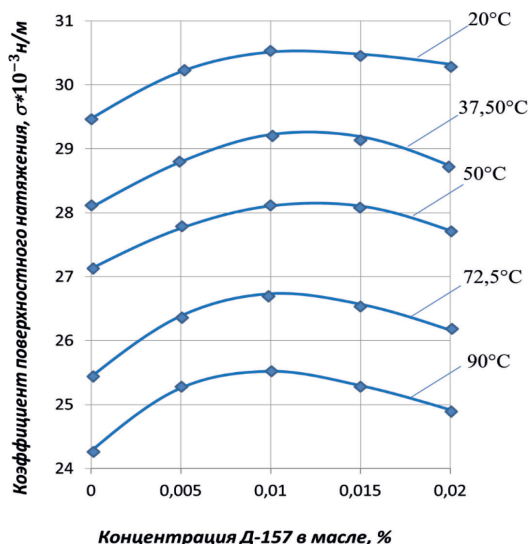


Рис. 4. Изменение поверхностного натяжения (σ) в зависимости от температуры и от концентрации дезэмульгатора Д-157 в масле Тп-22С. Определение ККМ

ляется ньютоновской жидкостью. Для масла И460ПВ линейная зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры сохранялась в диапазоне от 30 $^{\circ}\text{C}$ до 90 $^{\circ}\text{C}$. Масла Тп-22С и Shell Vitrea М 220 является ньютоновскими жидкостями. Масло И460ПВ – неньютоновской, оно содержит загущающую присадку «Oppanol В15», масс. % в количестве 0,6%.

При снижении температуры ниже 20 $^{\circ}\text{C}$ линейная зависимость не сохраняется, масло И460ПВ является неньютоновской жидкостью, и характеристика изменения поверхностного натяжения теряет линейный характер.

Коэффициент поверхностного натяжения для масла И460ПВ, при увеличении температуры от 20 $^{\circ}\text{C}$ до 90 $^{\circ}\text{C}$, снижается от 31

до $25,5 \cdot 10^{-3}$ н/м. Испытывалось два образца импортного масла Sell Vitrea M220, кинематическая вязкость 225 мм²/с, индекс вязкости 93. Характеристика изменения поверхностного натяжения от температуры у масла Sell Vitrea M220 линейная, в отличие от характеристики масла И460ПВ, последнее имеет характерный загиб при 20 °С (рис. 3).

По результатам этих испытаний была выбрана температура, при которой проводились дальнейшие испытания масел по определению коэффициента поверхностного натяжения, она была равна 50 °С. Эта температура близка по значению к 52 °С, при которой компания Morgoil рекомендует проводить оценку деэмульгируемости [19–21].

По изменению коэффициента поверхностного натяжения для товарного масла Тп-22с был определен показатель ККМ. Коэффициент поверхностного натяжения σ для масла Тп-22с определялся в диапазоне температур от 20 °С до 90 °С, при этом концентрация деэмульгатора Д-157 изменялась от 0,005 до 0,020%. Оптимальная концентрация Д-157 по показателю ККМ была равна 0,012% (при 50 °С). Эти простые зависимости подтверждают, что нет необходимости увеличивать концентрацию деэмульгатора выше нормы: превышение концентрации снижает поверхностное натяжение масла (рис. 4).

Было исследовано изменение поверхностного натяжения для товарного масла И460ПВ со стандартным пакетом присадок при использовании двух ПАВ противоположного назначения. Один из них – это водонерастворимый деэмульгатор Synative PE 10.100, другой был эмульгатор ВТ-1, российского производства. Концентрация ПАВ изменялась в том же диапазоне – от 0,005 до 0,02%. Испытание проводилось при двух температурах – при 20 и 50 °С.

Было установлено, что при увеличении концентрации эмульгатора до показателя ККМ поверхностное натяжение масла увеличивается, а при вовлечении эмульгатора ВТ-1, наоборот, падает: для эмульгатора показатель ККМ не определен, он находится за пределами области испытаний данного опыта (рис. 5).

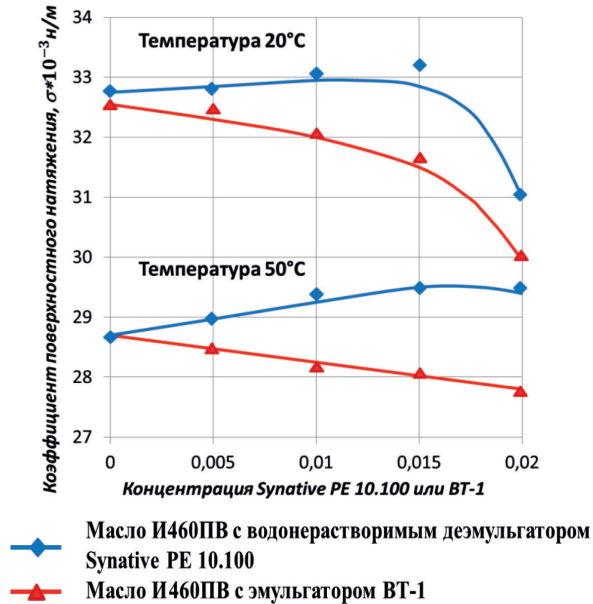


Рис. 5. Изменение поверхностного натяжения (σ) в зависимости от концентрации водонерастворимого деэмульгатора Synative PE 10.100 и эмульгатора ВТ-1 в масле И460ПВ при разных температурах.
(Состав масла И460ПВ: агидол = 1%, иргамет 39 = 0,03%, олеиновая кислота = 0,2%, антпенная С 9296 = 0,5%, Oppanol B15 = 0,6%. Базовое масло Омского НПЗ)

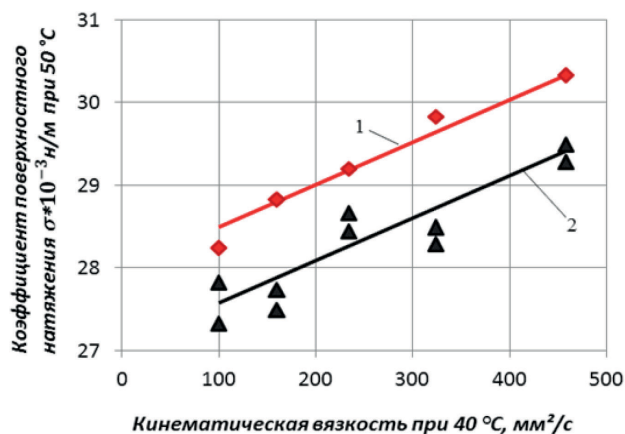
1.2.4. Влияние полимера

В литературе по вопросам образования и разрушения эмульсий часто отмечается отрицательная роль полимеров в масле. По этим источникам следует, что полимеры ухудшают деэмульгируемость в масле [22, 23].

При производстве масел типа ПЖТ в России часто вовлекают полимеры как загущающие или депрессорные присадки, для того чтобы поднять индекс вязкости или снизить температуру застывания. Компания Morgoil, наоборот, исключает применение загущенных масел и не допускает в своих спецификациях масла, приготовленные с применением загущающих присадок. Компания Morgoil, видимо, считает, что повышать индекс вязкости необходимо другим способом [19].

Макромолекула полимера является фазой и выступает как частица с определенным дзета-потенциалом (зарядом), является электростатически стабильным материалом, накапливается на границе раздела фаз нефть-вода. В зависимости от знака заряда они могут препятствовать разрушению эмульсии. Для того чтобы оценить влияние полимеров, были проведены простые опыты. Для испытаний было приготовлено 15 образцов масел ПЖТ с применением одного из лучших пакетов присадок Irgalub ML 605A, который в своем составе содержит водонерастворимый деэмульгатор. Масла охватывали широкий диапазон вязкости. Так, самая меньшая кинематическая вязкость у образцов при 40 °С была равна 100 мм²/с, самая высокая – 460 мм²/с. В одном случае масла были загущены присадкой «Orpanol B15», в другом – применялась присадка Максоил-Д. Изменение коэффициента поверхностного натяжения σ в зависимости от вязкости образцов проходило по-разному. Образцы, загущенные присадкой Максоил-Д, показали худшие значения. Практически во всем диапазоне вязкостей различие величины коэффициента поверхностного натяжения составляло в среднем $1 \cdot 10^{-3}$ Н/м (рис. 6).

На этих результатах какие-либо фундаментальные выводы делать невозможно, просто необходимо отметить, что большое влияние может оказывать количество полимера в масле. Так, в масле с применением присадки «Orpanol B15»



1 - $\blacklozenge$ – Масло ПЖТ, пакет Irgalub ML 605A, загущающая присадка Orpanol B15 от 0,3% для масла с кинематической вязкостью 100 мм²/с и до 0,6% для масла с кинематической вязкостью 460 мм²/с.

2 - $\blacktriangle$ – Масло ПЖТ, пакет Irgalub ML 605A, загущающая присадка Максоил Д от 0,6% для масла с кинематической вязкостью 100 мм²/с и до 1,3% для масла с кинематической вязкостью 460 мм²/с.

Рис. 6. Изменение поверхностного натяжения (σ) масел серии ПЖТ в зависимости от кинематической вязкости