

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Астраханский государственный технический университет
Институт нефти и газа**

Кафедра «Химическая технология переработки нефти и газа»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАСЕЛ МЕТОДОМ КАПЕЛЬНОЙ ПРОБЫ

Дисциплина «Физико-химия нефтяных дисперсных систем»

Методические указания для проведения лабораторных работ и
учебной научной - исследовательской работы обучающихся
по направлению 18.03.01

Астрахань 2026

Разработчики: профессор кафедры, д.т.н., профессор Пивоварова Н.А.,
доцент кафедры, к.т.н. Сальникова Т.В., доцент кафедры, к.т.н.
Выборнова Т.С.

Рецензент – к.т.н. Акишина Е.С.

Методические указания для проведения лабораторных работ по дисциплине «Физико-химия нефтяных дисперсных систем» и УНИРС по направлению 18.03.01 «Химическая технология» / составители Пивоварова Н.А, Сальникова Т.В., Выборнова Т.С. Астрахань: АГТУ, 2026, 15 с.

Методические указания «Определение диспергирующих свойств масел методом капельной пробы» содержат теоретическую часть, описание методики, руководство к выполнению лабораторной работы, меры безопасности при проведении работы.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к использованию в учебном процессе и научно-исследовательской работе на заседании кафедры «Химическая технология переработки нефти и газа» протокол № 2 от 17.02.2026 г.

© Астраханский государственный технический университет

Введение

Методические указания по дисциплине «Физико-химия нефтяных дисперсных систем» предназначены для проведения лабораторной работы на протяжении лабораторного практикума обучающимися направления 18.03.01 «Химическая технология».

Успешное выполнение любой лабораторной работы предполагает обязательное предварительное усвоение теоретического материала в объеме программы лекционного курса по дисциплине «Физико-химия нефтяных дисперсных систем», ознакомление с аппаратурой и неукоснительное соблюдение правил ее эксплуатации.

Обучающимся разрешается приступать к той или иной лабораторной работе после прохождения инструктажей по технике безопасности и пожарной безопасности, после согласования с преподавателем правил ее выполнения, включая последовательность операций.

По каждой выполненной лабораторной работе должен быть составлен отчет на листах формата А4. Последовательность выполнения лабораторных работ во время практикума определяется преподавателем и может отличаться от последовательности их номеров.

Рекомендуемый план отчета о лабораторной работе:

Отчёт оформляется по одному на бригаду (2-4 человека) и включает:

1. Титульный лист (Приложение 1)
2. Ход выполнения лабораторной работы с указанием задания, условий работы, сущности метода
3. Результаты, полученные экспериментально с расчётами и таблицами при необходимости.
4. Графические зависимости по возможности.
5. Выводы по работе, объяснение полученных результатов на основании теории нефтяных дисперсных систем.

Меры безопасности при выполнении лабораторных работ

К проведению лабораторных работ студенты допускаются только после прохождения первичного инструктажа по технике безопасности.

По степени воздействия на человека масла, в т. ч. отработанные относят к 3-4 классу опасности в зависимости от степени загрязнения. Адсорбенты не взрывоопасны, не горючи, не токсичны. При попадании масел на кожу или в глаза – необходимо обильное промывание теплой водой.

Опасными факторами при проведении работы являются горячие поверхности и жидкости, электроприборы, стеклянная посуда.

Для выполнения лабораторной работы обучающийся должен:

- использовать спецодежду (халат хлопчатобумажный, который следует носить в застегнутом виде);
- не загромождать проходы, лабораторные столы и стулья рюкзаками, портфелями, сумками и т.п.;
- перед началом работы включить систему вентиляции;
- осмотреть электрические розетки и вилки, электрические провода и блоки питания на электроприборах и т.п., используемые при выполнении данной работы на предмет целостности;
- во избежание ожогов осторожно переносить и переливать горячие жидкости;
- во избежание порезов аккуратно обращаться с химической посудой;
- при выполнении анализа не оставлять рабочее место без присмотра;
- по окончании лабораторной работы привести в порядок свое рабочее место (вымыть за собой использованную химическую посуду и части прибора, выключить приборы из сети, закрыть воду);
- отработанные пробы масел и материалов утилизировать в установленном порядке.

1. Теоретическая часть

Проба работающего или отработанного моторного масла – это сложная нефтяная дисперсная система, включающая масло, пакет несработанных присадок, химические компоненты сработанных присадок, продукты деструкции масла и механические примеси, которые образуются при работе двигателя. У примесей разная форма, структура, размеры, плотность, отличаются они и по химическому составу. Одной из основных характеристик моторных масел является диспергирующее свойство, зависящее от его способности распределять по объёму различные примеси. Диспергирующее свойство масла определяется способностью поверхностно-активных веществ, вводимых в его состав – дисперсантов или диспергирующих присадок. Под их влиянием меняется дисперсная структура масла.

Основная задача этих присадок – поддержание загрязнений в масле в растворенном состоянии, предотвращение их отложений на деталях двигателя, масляных каналах и др. Они также противодействуют образованию и накоплению низкотемпературного шлама, поддерживая мелкие жесткие частицы примесей во взвешенном состоянии и препятствуя их оседанию на стенках двигателя.

Для выполнения функции дисперсанта в состав масел обычно вводят полимеры с полярными группами и сукцинимиды. Эти вещества эффективно поддерживают чистоту непрогретого двигателя. Когда мотор нагревается, масло темнеет, потому что в нем становится больше мелких частиц, находящихся во взвешенном состоянии, не забивающих фильтры и не оседающих на горячие детали.

Диспергирующие присадки похожи по структуре на моющие, но, как правило, не содержат металла и соответственно беззольные. Кроме этого, диспергирующими свойствами также могут обладать и моющие присадки. В процессе работы в двигателе диспергирующая способность масла снижается.

Для экспресс-оценки изменения дисперсных свойств такой НДС, как работающее или отработанное моторное масло, применяют метод капельной пробы, являющийся разновидностью бумажной хроматографии. Хроматография на бумаге представляет собой процесс перемещения подвижной фазы по капиллярам и по поверхности листа фильтровальной бумаги (рисунок).

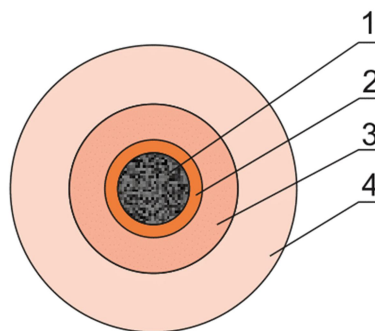


Рис. Масляное пятно капельной пробы на фильтровальной бумаге

1 – ядро капли, содержащее механические примеси, 2 – зона диффузии нерастворимых органических примесей (сработанные присадки, смолы), 3 – зона диффузии растворимых органических соединений (несработанные присадки), 4 – зона диффузии чистого масла

При нанесении капли на фильтр примеси в растекающейся капле масла перемещаются по определенным закономерностям. Масло растекается по поверхности фильтра и заполняет его поры, самые крупные механические примеси в первую очередь осаждаются на фильтр, почти не перемещаются в растекающемся масле. У растворимых элементов присадок очень малые размеры, поэтому они перемещаются по объему растекающейся капли. В зависимости от изношенности деталей двигателя, срока использования масла и отклонения от рекомендуемых заводом-изготовителем регулировок ДВС содержание в капле масла присадки и примесей будет отличаться. Указанные механизмы образования зон хроматограммы приводят к различным диаметрам зон и их соотношению. За счет того, что механические примеси имеют плотность большую, чем плотность масла, они осаждаются в центре

хроматограммы капли. Присадки образуют зоны диффузии, масло растекается по самой большой окружности. Измерения радиусов пятен позволяет дать оценку диспергирующей способности моторного масла.

Для численной оценки диспергирующей способности масла применяется показатель ДС:

$$ДС = 1 - \frac{d^2}{D^2} \quad (1)$$

где d – средний диаметр ядра капли (зона 1), мм

D – средний диаметр зоны диффузии масла (зона 4), мм

При значении $ДС = 1$ масло полностью сохраняет запас диспергирующих свойств – это свойственно новым или мало сработанным моторным маслам. Допустимый коэффициент диспергирующих свойств. В отработанных моторных маслах показатель $ДС = 0.25–0.35$. При значениях ниже 0,3 присадки малоактивны, масло требует замены.

Отношение среднего диаметра d_1 зоны диффузии нерастворимых (зона 2) органических примесей и среднего диаметра d_2 зоны диффузии растворимых соединений (зона 3) служит оценкой активности присадок по примесям (A):

$$A = 1 - \frac{d_1}{d_2} \quad (2)$$

где d_1 – средний диаметр зоны диффузии нерастворимых органических примесей (зона 2), мм

d_2 – средний диаметр зоны диффузии растворимых органических соединений (зона 3), мм

Чем выше коэффициент A , тем меньше в отработанном масле нерастворимых примесей и/или больше активность присадок в отношении растворимых примесей. При $A > 0,5$ превалирует содержание растворимых примесей и активность присадок в отношении этих примесей. При $A > 0,5$ механические (нерастворимые примеси) содержатся в значительном количестве, а присадки малоактивны.

Для оценки моюще-диспергирующих свойств используют коэффициент $K_{\text{мд}}$. Он определяется соотношением площадей зоны диффузии масла (4) и зоны диффузии растворимых органических соединений (2). Граничным значением этого коэффициента, является значение 1,65. Если расчетное значение ниже этой величины, присадки малоактивны. Высока вероятность образования в двигателе лаковых отложений:

$$K_{\text{дм}} = \frac{D}{d_2} \quad (3)$$

где D – средний диаметр зоны диффузии масла (зона 4), мм

d_2 – средний диаметр зоны диффузии растворимых органических соединений (зона 3), мм

Коэффициент механических примесей $K_{\text{мех}}$ в моторном масле, характеризующем содержание крупной дисперсной фазы, определяется по соотношению диаметров ядра капли (1) и зоны диффузии нерастворимых примесей (2):

$$K_{\text{мех}} = \frac{d}{d_1} \quad (4)$$

где d – средний диаметр ядра капли (зона 1), мм

где d_1 – средний диаметр зоны диффузии нерастворимых органических примесей (зона 2), мм

Граничным значением коэффициента механических примесей ($K_{\text{мех}}$) является величина 0,44. Если расчетное значение получается ниже этой границы, то присадки малоактивны. А в результате содержания крупной дисперсной фазы велико и вероятно образование задиров на стенках цилиндров.

Следует отметить, что количество зон может изменяться в зависимости от степени отработки масла. Могут появляться зоны топлива (после зоны диффузии) или вкрапления воды на границе раздела зон 2-3 или 3-4. Всё зависит от состава масла, от количества и природы содержащихся в нём веществ. Однако эти примеси не учитывают в оценке диспергирующих свойств масла.

Таким образом, с помощью метода капельной бумажной хроматографии возможно оценить дисперсное состояние моторных масел, его диспергирующие свойства, активность присадок и ресурс работы масла.

2. Цель лабораторной работы

Целью работы является изучение дисперсного состояния различных образцов отработанных моторных масел или их модельных смесей с помощью метода капельной бумажной хроматографии и определение диспергирующих свойств масел и масляных дистиллятов.

Сущность метода заключается в сравнении способности различных компонентов масел распределяться по порам фильтровальной бумаги под действием капиллярных сил и дисперсного состава масла. Для сравнения измеряют средние диаметры пятен, образуемых при проведении бумажного хроматографического анализа методом капельной пробы и использовании этих результатов для расчётов коэффициентов, определяющих диспергирующие свойства масел.

3. Аппаратура, материалы

При выполнении работ по данной методике применяют следующие средства измерений, вспомогательные устройства, посуду и оборудование, реактивы:

- фильтровальная бумага «Белая лента»
- отработанное моторное минеральное масло
- отработанное моторное синтетическое масло
- свежее моторное масло минеральное масло
- свежее моторное масло синтетическое масло
- масляный дистиллят (фр. 350-420 °С, и фр. 420-500 °С)
- сажа высокодисперсная
- механические примеси высокодисперсные
- диспергирующие/ диспергирующе-моющие присадки

- стеклянная палочка
- микрошприц
- химический стакан 100 см³
- линейка с ценой деления 1 мм
- баня водяная
- весы аналитические
- сушильный шкаф

4. Подготовка к испытанию

Подготовить бумажные фильтры диаметром 9 см в количестве равном числу исследуемых образцов. Для анализа подготовить отработанное моторное синтетическое масло, отработанное моторное минеральное масло и необходимое количество модельных смесей (таблица 1) по заданию преподавателя. На одной лабораторной работе анализируют не менее 5 различных образцов. Образцы для исследования подогревают в водяной бане до 80 °С.

Таблица 1 – Составы модельных смесей

№	Основной компонент	Добавки		
		Сажа	Механические примеси	Присадки
1	2	3	4	5
1.	Масляный дистиллят (фр. 350-420 °С)	3 % об.	10 % об.	5% об.
2.	Масляный дистиллят (фр. 420-500 °С)	3 % об.	10 % об.	5% об.
3.	Масляный дистиллят (фр. 350-420 °С)	1 % об.	15 % об.	3% об.
4.	Масляный дистиллят (фр. 420-500 °С)	1 % об.	15 % об.	3% об.
5.	Масляный дистиллят (фр. 350-420 °С)	2 % об.	13 % об.	2% об.
6.	Масляный дистиллят (фр. 420-500 °С)	2 % об.	13 % об.	2% об.
7.	Масляный дистиллят (фр. 350-420 °С)	5 % об.	20 % об.	1% об.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
8.	Масляный дистиллят (фр. 420-500 °С)	5 % об.	20 % об.	1% об.
9.	Масляный дистиллят (фр. 350-420 °С)	4 % об.	16 % об.	1% об.
10.	Масляный дистиллят (фр. 420-500 °С)	4 % об.	16 % об.	1% об.
11.	Масляный дистиллят (фр. 350-420 °С)	3 % об.	25 % об.	3% об.
12.	Масляный дистиллят (фр. 420-500 °С)	3 % об.	25 % об.	3% об.
13.	Масляный дистиллят (фр. 350-420 °С)	2 % об.	18 % об.	2% об.
14.	Масляный дистиллят (фр. 420-500 °С)	2 % об.	18 % об.	2% об.

5. Проведение испытания

Разогретое масло до температуры 80 °С перемешивают и стеклянной палочкой наносят на фильтровальную бумагу «Белая лента», размещенную горизонтально на непитающем материале (стеклянная или металлическая пластина, или тарелка, или поднос/поддон и т.п), в количестве одной капли. Следует отметить, что капля должна растекаться равномерно по горизонтали и оставить след в виде окружности. После нанесения образца на фильтр проба высушивается 0,5-1 ч в сушильном шкафу при температуре 90 °С.

Полученный образец капли осматривают и описывают наблюдаемые зоны. В образце высушенной капли измеряют диаметры зон, указанных на вышеприведённом рисунке. Замеры диаметров зон (D и d_i) проводят не менее двух раз. Заполняют таблицу замеров для каждого исследуемого образца (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты замеров диаметров пятен капельной пробы

Образец пробы	Обозначение диаметра зоны	Замер №1	Замер №1	Средний диаметр
1	2	3	4	5
Проба 1	d			
	d_i			

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Проба 2	d_2			
	D			
	d			
	d_1			
И т.д.	d_2			
	D			

6. Обработка результатов

При замере диаметра каждой зоны выбирают два результата измерения, разность между которыми максимальная.

Вычисляют сходимость (повторяемость) результатов замера каждого диаметра по формуле (на примере d):

$$d = \frac{\Delta d_{\max}}{d_{\max}} * 100\% \quad (5)$$

$\Delta d_{\max}$ - максимальная разность замеренных диаметров, мм

$d_{\max}$ - максимальный диаметр, мм

Если d не превышает 10 %, результаты считают удовлетворительным.

Затем производят вычисления по формулам 1-4 и заносят в таблицу 3.

Таблица 3 - Результаты оценки диспергирующих свойств моторных масел

Номер пробы	ДС	A	$K_{\text{дм}}$	$K_{\text{мех}}$	Оценка диспергирующей активности масла
1					
2					
3					
...					

Оформляют отчёт по лабораторной работе (титальный лист согласно Приложению).

Контрольные вопросы

1. Что из себя представляет собой свежее, работающее и отработанное моторное масло?

2. Что является дисперсной фазой в свежем, работающем и отработанном моторном масле?
3. Классифицировать изученные масла по агрегатному состоянию НДС, по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды, по дисперсному составу (размер частиц дисперсной фазы), по концентрации дисперсной фазы, по характеру взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды, по коллоидно-химическому составу, по соотношению поверхностной и объёмной активности.
4. В чем заключается сущность метода капельной пробы?
5. Опишите ход проведения лабораторной работы.
6. Какие критерии используют для оценки диспергирующих свойств отработанных масел?
7. Какие результаты получены в работе?
8. Какова погрешность определения метода капельной пробы?
9. Объяснить с точки зрения теории НДС различное поведение изученных образцов масел.

Литература

1. Сюняев, З.И. Прикладная физико-химическая механика нефтяных дисперсных систем/ З.И. Сюняев. М.: Химия, 1990, 220 с.
2. Сафиева, Р.З. Физикохимия нефти./ Р.З. Сафиева. М.: Химия, 1998, 448 с.
3. Федосова С. В., Маркеловс А. В., Соколов А. В., Осадчий Ю. П. Коагуляция и ультрафильтрация: гибридный процесс очистки отработанных моторных. Мембраны и мембранные технологии, 2022, том 12, № 5, С. 341–350
4. Булавка Ю.А., Мелешко А.В. Анализ эффективности экспресс-тестов для определения срока замены отработанного моторного масла. Вестник полоцкого государственного университета. Серия В, 2023, С. 100-106.
5. Экспресс-оценка моторного масла по капельной пробе в Volvo XC60 B5254T14 <https://www.drive2.ru/l/479083330696904818/> (дата обращения 6.02.2026)

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

Астраханский государственный технический университет

Институт нефти и газа

Кафедра «Химическая технология переработки нефти и газа»

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАСЕЛ
МЕТОДОМ КАПЕЛЬНОЙ ПРОБЫ**

**Лабораторная работа по дисциплине
«Физико-химия нефтяных дисперсных систем»**

Обучающиеся:

.....

.....

.....

Группа:

Проверил:

Дата:

Астрахань – 2026