

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГАОУ ВО «МГТУ»)

Кафедра химии  
название кафедры

**Методические указания  
к выполнению контрольных работ студентов**

по дисциплине: **ФТД.01 Переработка углеводородного сырья**  
название дисциплины

для направления подготовки (специальности)  
код направления подготовки

**21.05.05**  
наименование направления подготовки

**Физические процессы горного или нефтегазового производства**

(очная форма обучения)  
форма обучения

Мурманск  
2021



1. Методические указания к выполнению контрольных работ составлены в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки (специальности) 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства (уровень «специалист»), утвержденным приказом Министра образования и науки РФ 12.08.2020 г. № 981, учебным планом, одобренным Ученым советом ФГАОУ ВО «МГТУ» (протокол № 12 от 26.03.2021 г.) и утвержденным ректором.

В соответствии с учебным планом подготовки специалиста 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства, утвержденным Ученым советом ФГАОУ ВО «МГТУ», при изучении дисциплины «Переработка углеводородного сырья» студенты должны выполнить 1 контрольную работу.

---

Целью дисциплины «Переработка углеводородного сырья» является подготовка специалиста в соответствии с квалификационной характеристикой и рабочим учебным планом дисциплины для специальности 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства.

Задачи изложения и изучения дисциплины «Переработка углеводородного сырья» – дать необходимые теоретические знания, практические умения и навыки по основам переработки углеводородного сырья, позволяющие успешно использовать их в профессиональной деятельности.

Процесс изучения дисциплины «Переработка углеводородного сырья» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО специальности 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства:

ОПК-15 - Способен осуществлять техническое руководство технологическими лабораториями на горных или нефтегазоводобывающих производствах с целью контроля параметров процессов добычи и переработки полезных ископаемых, строительства и эксплуатации подземных сооружений

В результате изучения дисциплины специалист 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства дело должен:

Знать:

- химический состав и физико-химические свойства углеводородного сырья;
- основные термические процессы переработки углеводородного сырья - крекинг, пиролиз, коксование;
- виды, механизмы, состав сырья и продуктов термических процессов переработки углеводородного сырья.

Уметь:

- использовать знания термодинамических и кинетических закономерностей протекания реакций, лежащих в основе процессов переработки углеводородного сырья при решении практических задач, выполнении технологических и тепловых расчетов;
- применять полученные знания для экспертизы проектов, технологий и производств, сертификации продукции с целью достижения максимальной экологической безопасности хозяйственной деятельности человека;
- оценивать предполагаемые способы переработки углеводородного сырья.

Владеть:

- теоретическими основами и научными принципами превращения углеводородного сырья в технологических процессах;
- научными основами процессов получения и переработки углеводородов;
- методами прогнозирования состава и свойств получаемых при переработке углеводородного сырья продуктов.

## Контрольная работа № 1

## Нефтепродукты

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КР № 1	5, 15, 22	2, 16, 21	3, 14, 23	4, 13, 24	5, 12, 25	6, 17, 26	7, 18, 27	8, 11, 28	9, 19, 29	10, 20, 30

- 1 Определите относительную плотность нефтепродукта,  $\rho_4^{20}$ , если его относительная плотность при  $15^\circ\text{C}$ ,  $\rho_4^{15}$ , равна  $0,7586 \text{ г/см}^3$ .
- 2 Определите относительную плотность нефтепродукта,  $\rho_4^{20}$ , если его относительная плотность при  $40^\circ\text{C}$ ,  $\rho_4^{40}$ , равна  $0,8720 \text{ г/см}^3$ .
- 3 Относительная плотность бензиновой фракции,  $\rho_4^{20}$ , равна  $0,7560 \text{ г/см}^3$ . Какова относительная плотность этой фракции при  $50^\circ\text{C}$ ?
- 4 Относительная плотность мазута,  $\rho_4^{20}$ , равна  $0,9530 \text{ г/см}^3$ . Какова его относительная плотность при  $130^\circ\text{C}$ ?
- 5 Определите относительную плотность смеси, состоящей из 250 кг бензина плотностью  $\rho_4^{20} = 0,7560$  и 375 кг керосина плотностью  $\rho_4^{20} = 0,8260$ .
- 6 Определите относительную плотность смеси следующего состава (объемная доля, %): 25 бензина ( $\rho_4^{20} = 0,7560 \text{ г/см}^3$ ), 15 газойля ( $\rho_4^{20} = 0,7850 \text{ г/см}^3$ ) и 60 керосина ( $\rho_4^{20} = 0,8370 \text{ г/см}^3$ ).
- 7 Смесь состоит из трех компонентов, масса которых 459, 711 и 234 кг, с относительной плотностью ( $\rho_4^{20}$ ) соответственно 0,765, 0,790 и 0,780  $\text{г/см}^3$ . Определите относительную плотность этой смеси ( $\rho_4^{20}$ ).
- 8 Определите плотность пропана и *n*-бутана при (а)  $0^\circ\text{C}$  и 101,3 кПа, (б)  $70^\circ\text{C}$  и 1,2 атм.
- 9 Определите плотность крекинг-газа при  $400^\circ\text{C}$  и 160 МПа, если его средняя молекулярная масса равна 30.
- 10 Определите плотность газа при  $200^\circ\text{C}$  и 253 кПа, если его молекулярная масса равна 58.
- 11 Рассчитайте динамическую вязкость *n*-декана при  $40^\circ\text{C}$ , если его кинематическая вязкость при этой температуре составляет  $7,3 \text{ мм}^2/\text{с}$ .
- 12 Динамическая вязкость толуола при  $20^\circ\text{C}$  составляет  $0,584 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Рассчитайте его кинематическую вязкость при  $20^\circ\text{C}$ . Плотность толуола  $\rho_4^{20} = 0,8669 \text{ г/см}^3$ .
- 13 Масляная фракция имеет при  $60^\circ\text{C}$  условную вязкость  $3,81^\circ$ . Определите кинематическую и динамическую вязкость фракции при этой температуре, если плотность ее  $\rho_4^{20} = 0,894 \text{ г/см}^3$ . Динамическую вязкость рассчитайте двумя способами.
- 14 Условная вязкость сураханской нефти при  $50^\circ\text{C}$  равна  $1,63^\circ$ . Определите кинематическую и динамическую вязкость нефти при той же температуре, если плотность ее равна  $879 \text{ кг/м}^3$ .
- 15 Кинематическая вязкость калинской нефти при  $20^\circ\text{C}$  и  $50^\circ\text{C}$  соответственно равна 65 и  $16 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Найти условную вязкость нефти при тех же температурах.
- 16 Масляная фракция бинагадинской нефти имеет кинематическую вязкость при  $20^\circ\text{C}$  и  $50^\circ\text{C}$  соответственно  $17,5 \cdot 10^{-6}$  и  $6,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Определите кинематическую вязкость нефти при  $0^\circ\text{C}$  и  $100^\circ\text{C}$ .
- 17 Условная вязкость мазута бинагадинской нефти при  $100^\circ\text{C}$  равна  $3,41^\circ$ , при  $0^\circ\text{C}$  –  $35^\circ$ . Определите условную вязкость мазута при  $20^\circ\text{C}$ .

- 18 Нефтяная фракция имеет кинематическую вязкость при  $100^{\circ}\text{C}$   $2,35 \cdot 10^{-6}$  м/с, а при  $50^{\circ}\text{C}$  –  $3,51 \cdot 10^{-6}$  м/с. Определите кинематическую вязкость этой фракции при  $0^{\circ}\text{C}$
- 19 Кинематическая вязкость циклогексана при  $0^{\circ}\text{C}$  и при минус  $20^{\circ}\text{C}$  равна соответственно 5,03 и 10,61 мм<sup>2</sup>/с. Рассчитайте его кинематическую и условную вязкость при  $50^{\circ}\text{C}$
- 20 Кинематическая вязкость толуола при минус  $20^{\circ}\text{C}$  и минус  $60^{\circ}\text{C}$  равна соответственно 10,50 и 277,61 мм<sup>2</sup>/с. Плотность толуола  $\rho_4^{20} = 0,8669$  г/см<sup>3</sup>. Рассчитайте его кинематическую и динамическую вязкость при  $30^{\circ}\text{C}$
- 21 Определите молекулярную массу нефтяных фракций, средняя температура кипения которых составляет 110, 130 и  $150^{\circ}\text{C}$
- 22 Смесь состоит из двух компонентов, масса каждого составляет 1500 кг. Определите среднюю молекулярную массу смеси, если молекулярная масса 1-го и 2-го компонентов соответственно равна 100 и 156.
- 23 Смешали 500 кг нефтяной фракции с температурой кипения  $85^{\circ}\text{C}$  и 700 кг фракции с температурой кипения  $115^{\circ}\text{C}$ . Определите среднюю молекулярную массу смеси и ее температуру кипения
- 24 Смесь состоит из 60 кг *n*-пентана, 40 кг *n*-гексана и 20 кг *n*-гептана. Определите среднюю молекулярную массу смеси
- 25 Определите среднюю молекулярную массу широкой фракции, состоящей из 20 % бензина со средней молекулярной массой 110, 40 % легкого газойля со средней молекулярной массой 150, 20 % керосина со средней молекулярной массой 200 и 20 % газойля со средней молекулярной массой 250
- 26 Определите среднюю молекулярную массу узкой фракции прямой перегонки с плотностью  $\rho_{15}^{15} = 0,758$
- 27 Определите среднюю молекулярную массу нефтепродукта с плотностью  $\rho_4^{20} = 0,856$
- 28 Смешали 20 кг нефтепродукта с  $\rho_4^{20} = 0,715$  и 60 кг нефтепродукта с  $\rho_4^{20} = 0,837$ . Определите среднюю молекулярную массу смеси
- 29 Смесь содержит 35 % нефтепродукта с  $\rho_{15}^{15} = 0,746$ , 45 % нефтепродукта с  $\rho_{15}^{15} = 0,788$  и 20 % нефтепродукта с  $\rho_{15}^{15} = 0,842$ . Определите среднюю молекулярную массу смеси
- 30 Смесь приготовили из 50 кг *n*-октана, 10 кг *n*-декана и 45 кг нефтепродукта с плотностью  $\rho_4^{20} = 0,896$ . Определите среднюю молекулярную массу смеси.

#### Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
<b>Отлично</b>	Контрольная работа выполнена полностью, в решении нет ошибок (возможна одна неточность, описка, не являющаяся следствием непонимания материала).
<b>Хорошо</b>	Контрольная работа выполнена полностью, но обоснования шагов решения недостаточны, допущена одна негрубая ошибка или два-три недочета в выкладках или графиках, если эти виды работы не являлись специальным объектом проверки.
<b>Удовлетворительно</b>	В контрольной работе допущено более одной грубой ошибки или более двух-трех недочета в выкладках или графиках, но обучающийся владеет обязательными умениями по проверяемой теме.
<b>Неудовлетворительно</b>	В контрольной работе показано полное отсутствие обязательных знаний и умений по проверяемой теме.

Зависимость баллов в БРС университета за контрольную работу от оценки в традиционной шкале «отлично-хорошо-удовлетворительно-неудовлетворительно»

Оценка	отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
Баллы в БРС	15	13	10	0

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. Берестова Г.И., Коновалова И.Н. Химия нефти и газа: Учеб. пособие для вузов. Ч.1. Свойства, состав и классификация нефтей и газов: Мурманск: Изд-во МГТУ, – 2013. - 120 с. (100 экз.)
2. Берестова Г.И., Коновалова И.Н. Химия нефти и газа: Учеб. пособие для вузов. Ч.2. Методы переработки и исследования нефти и газа: Мурманск: Изд-во МГТУ, – 2014. – 144 с. (100 экз.)

### Дополнительная литература

1. Лутошкин, Г. С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды : учебник для вузов / Г. С. Лутошкин. - Изд. 3-е, стер. - Перепечатка со 2-го изд. 1979 г. - Москва : Альянс, 2005. - 318, [1] с. (39 экз.)
2. Владимиров, А. И. Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки : учеб. пособие для вузов / А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов, С. А. Круглов. - Москва : Недра, 2002. - 227 с. (3 экз.)
3. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа : учеб. пособие / С. А. Ахметов [и др.] ; под ред. С. А. Ахметова. - Москва : Химия, 2005. - 735 с. (2 экз.)

## СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Плотность

Различают абсолютную и относительную плотность. Под абсолютной плотностью понимают массу вещества в единице объема

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Где  $\rho$  – плотность вещества, г/см<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>)

$m$  – масса вещества, г. (кг)

$v$  – объем вещества, см<sup>3</sup> (м<sup>3</sup>).

Размерность плотности в единицах системы СИ – кг /м<sup>3</sup>. Во многих расчетных формулах применяют дольную единицу плотности – г/см<sup>3</sup>.

В практике нефтепереработки принято иметь дело с величинами относительной плотности. Экспериментально определяемая (видимая) относительная плотность – это безразмерная величина, численно равная отношению массы нефтепродукта при температуре определения к массе чистой воды при 4<sup>0</sup>С, взятой при том же объеме ( $\rho_4^{20}$ ). Действительная относительная плотность получается при умножении видимой плотности на разность абсолютных плотностей воды и воздуха, поэтому имеет размерность г/см<sup>3</sup> (или кг/м<sup>3</sup>).

Так как зависимость плотности нефтепродуктов от температуры имеет линейный характер, зная плотность при температуре  $\rho_4^t$ , можно найти  $\rho_4^{20}$  по формуле:

$$\rho_4^{20} = \rho_4^t + \gamma(t - 20) \quad (2)$$

Где  $\rho_4^t$  – относительная плотность, г/см<sup>3</sup>, при температуре  $t$ , <sup>0</sup>С

$\gamma$  – температурная поправка к плотности на 1 град, находится по справочным таблицам (см Приложение, таблица П.1).

Плотность смеси нефтепродуктов можно рассчитать по правилу аддитивности по формулам:

$$\frac{100}{(\rho_4^{20})_{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{x_i}{(\rho_4^{20})_i} \quad (3)$$

$$100 \cdot (\rho_4^{20})_{см} = \sum_{i=1}^{i=n} [V_i \cdot (\rho_4^{20})_i] \quad (4)$$

$$\frac{G_{см}}{(\rho_4^{20})_{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{G_i}{(\rho_4^{20})_i} \quad (5)$$

Где  $(\rho_4^{20})_{см}$  и  $(\rho_4^{20})_i$  – относительная плотность, г/см<sup>3</sup>, соответственно смеси и i-того компонента

$x_i$  – массовая доля i-того компонента, %

$V_i$  – объемная доля i-того компонента, %

$G_i$  – масса i-того компонента, г.

Относительная плотность нефтяных и попутных газов определяется как отношение массы газа к массе такого же объема воздуха при одинаковых условиях:

$$\rho_{возд}^g = \frac{m_g}{m_{возд}} \quad (6)$$

Если считать газ идеальным, то при температуре 273 К, давлении 1 атм ( $1,013 \cdot 10^5$  Па) и объеме 22,4 л., масса газа,  $m_g$ , равна его молекулярной массе, М. В таких же условиях масса 22,4 л. воздуха составляет 28,9 г. Поэтому относительная плотность газа (относительно воздуха) равна:

$$\rho_{возд}^g = \frac{M}{28,9} \quad (7)$$

Абсолютная плотность газа в идеальных условиях:

$$\rho_{(н.у.)} = \frac{M}{22,4}, \text{ г/л (кг/м}^3) \quad (8)$$

Если температура и давление отличаются от нормальных, то плотность газа можно рассчитать по формуле:

$$\rho_{(T,P)} = \rho_{(н.у.)} \cdot \frac{273}{T} \cdot \frac{P_2}{P_{(н.у.)}} \quad (9)$$

Где  $\rho_{(T,P)}$  – плотность газа при температуре Т и давлении Р, кг/м<sup>3</sup>

Т – температура, К

$\rho_{(н.у.)}$  – плотность газа при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>

$P_2$  – давление газа при температуре Т, Па

$P_{(н.у.)}$  – давление газа при нормальных условиях,  $P_{(н.у.)} = 1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5$  Па).

Подставляя значение  $\rho_{(н.у.)}$  из уравнения (8) в уравнение (9), получим:

$$\rho_{(T,P)} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{273}{T} \cdot \frac{P_2}{1,013 \cdot 10^5} = \frac{273}{22,4 \cdot 1,013 \cdot 10^5} \cdot \frac{M \cdot P_2}{T}, \text{ кг/м}^3 \quad (10)$$

### Примеры решения задач

#### Пример 1

Рассчитать плотность газа, имеющего среднюю молекулярную массу 42, при 80<sup>0</sup>С и давлении 2 атм.

Решение.

Дано:  $M = 42$

$T = 80 + 273 = 353 \text{ К}$

$$P_2 = 2 \cdot 1,013 \cdot 10^5 = 2,026 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Ход решения:

Относительную плотность газа находим по уравнению (10):

$$\rho_{(T,P)} = \frac{273}{22,4 \cdot 1,013 \cdot 10^5} \cdot \frac{42 \cdot 2,026 \cdot 10^5}{353} = 2,9 \text{ кг/м}^3$$

### Пример 2

Рассчитать относительную плотность смеси нефтепродуктов, состоящую из 30 кг. бензина ( $\rho_4^{20} = 0,7480 \text{ г/см}^3$ ) и 50 кг газойля ( $\rho_4^{20} = 0,7960 \text{ г/см}^3$ )

Решение.

Дано:

Бензин:  $G_1 = 30 \text{ кг}$ ,  $\rho_4^{20} = 0,7480 \text{ г/см}^3 = 748 \text{ кг/м}^3$

Газойль:  $G_2 = 50 \text{ кг}$ ,  $\rho_4^{20} = 0,7960 \text{ г/см}^3 = 796 \text{ кг/м}^3$

Ход решения:

Масса смеси компонентов равна  $G_{см} = G_1 + G_2 = 30 + 50 = 80 \text{ кг}$ .

Для расчета плотности смеси по массам компонентов воспользуемся уравнением (5):

$$\frac{80}{\rho_{см}} = \frac{30}{748} + \frac{50}{796} = 0,1029,$$

Откуда 
$$\rho_{см} = \frac{80}{0,1029} = 777,3 \text{ кг/м}^3$$

### **Вязкость**

Различают вязкость динамическую ( $\eta$ ), кинематическую ( $\nu$ ) и условную (ВУ).

Единица динамической вязкости – паскаль·секунда (Па·с). Для выражения динамической вязкости целесообразно применять дольную единицу - миллипаскаль·секунда (мПа·с) ( $1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \cdot 10^3 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ).

В нефтеперерабатывающей промышленности наиболее широко используют кинематическую вязкость. Единица кинематической вязкости  $\text{м}^2/\text{с}$ . В расчетах часто используют дольную единицу кинематической вязкости –  $\text{мм}^2/\text{с}$  ( $1 \text{ м}^2/\text{с} = 1 \cdot 10^6 \text{ мм}^2/\text{с}$ ).

Кинематическая вязкость связана с динамической соотношением:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \tag{11}$$

Где  $\nu$  – кинематическая вязкость,  $\text{мм}^2/\text{с}$

$\eta$  – динамическая вязкость, мПа·с

$\rho$  – плотность данной жидкости или газа,  $\text{г/см}^3$ , при той же температуре,

Для характеристики вязких и темных нефтепродуктов, таких как котельное топливо, мазуты, обычно используют условную вязкость (ВУ). Условную вязкость исчисляют в градусах. Для товарных нефтепродуктов условную вязкость определяют обычно при 50, 80 и  $100^\circ\text{C}$  в зависимости от марки нефтепродукта.

Условную вязкость пересчитывают в кинематическую или динамическую по таблицам или по формулам:

$$\nu_t = 7,24 \text{ ВУ}_t - \frac{6,25}{\text{ВУ}_t}, \text{ мм}^2/\text{с} \quad (\text{для } 1,0 < \nu_t < 120 \text{ мм}^2/\text{с}) \tag{12}$$

$$\nu_t = 7,41 \text{ ВУ}_t, \text{ мм}^2/\text{с} \quad (\text{для } \nu_t > 120 \text{ мм}^2/\text{с}), \tag{13}$$



$$\eta_t = \left(7,24 \nu_t - \frac{6,25}{\nu_t}\right) \cdot \rho, \text{ мПа} \quad (14)$$

Где  $\nu_t$  – кинематическая вязкость, мм<sup>2</sup>/с, при температуре  $t$ , °С,  
 $\nu_t$  – условная вязкость, 0ВУ, при температуре  $t$ , °С  
 $\eta_t$  – динамическая вязкость, мПа ( $1 \cdot 10^{-3}$  Па.с), при температуре  $t$ , °С  
 $\rho$  – плотность нефтепродукта, г/см<sup>3</sup>.

Для расчета вязкости смеси нефтепродуктов ( дистиллятов из различных нефтей, смесей остатков, полученных из малопарафинистой нефти) используют метод ASTM, основанный на аддитивности  $\lg \lg(\nu_t + 0,8)$  по объемным соотношениям:

$$\lg \lg(\nu_{см} + 0,8) = \sum \frac{x_i}{100} \cdot \lg \lg(\nu_i + 0,8) \quad (15)$$

Где  $\nu_{см}$  и  $\nu_i$  – кинематическая вязкость смеси и  $i$ -того компонента  
 $x_i$  –объемное содержание в смеси соответствующих компонентов, %.

Для оценки значения вязкости при разных температурах можно использовать формулу Вальтера:

$$\lg[\lg(\nu_i + 0,6)] = A - B \cdot \lg T \quad (16)$$

где  $\nu_i$  – кинематическая вязкость, мм<sup>2</sup>/с, при температуре  $T$ , К  
 $T$  – температура, К

Часто кинематическую вязкость при разных температурах определяют по номограммам, построенным по формуле Вальтера. Графически они представляют собой прямые линии.

Ниже приведена приблизительная вязкость некоторых нефтяных фракций:

Бензиновая фракция.....	0,4 – 0,5 мм <sup>2</sup> /с при 20 <sup>0</sup> С
Керосиновая фракция.....	1,1 – 2,4 мм <sup>2</sup> /с при 20 <sup>0</sup> С 3,3 – 20,6 мм <sup>2</sup> /с при минус 40 <sup>0</sup> С
Дизельная фракция.....	1,4 – 12,0 мм <sup>2</sup> /с при 20 <sup>0</sup> С 1,0 – 4,7 мм <sup>2</sup> /с при 50 <sup>0</sup> С
Вакуумный газойль.....	11,9 – 37,5 мм <sup>2</sup> /с при 50 <sup>0</sup> С 3,3 – 9,7 мм <sup>2</sup> /с при 100 <sup>0</sup> С
Масляные дистилляты.....	7,6 – 187,7 мм <sup>2</sup> /с при 50 <sup>0</sup> С 2,6 – 17,0 мм <sup>2</sup> /с при 100 <sup>0</sup> С
Гудроны.....	154 – 499 мм <sup>2</sup> /с при 50 <sup>0</sup> С 21 – 46,8 мм <sup>2</sup> /с при 100 <sup>0</sup> С 10,5 – 337 0ВУ при 100 <sup>0</sup> С.

### Примеры решения задач

#### Пример 1

Кинематическая вязкость при 50<sup>0</sup>С нефтепродукта с плотностью  $\rho_4^{50} = 0,689$  г/см<sup>3</sup> равна 6,2 мм<sup>2</sup>/с. Рассчитайте условную и динамическую вязкость нефтепродукта при той же температуре.

Решение:

Исходя из формулы: 
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (11),$$

$$\eta_{50} = \nu_{50} \cdot \rho_4^{50} = 6,2 \cdot 0,689 = 4,27 \text{ мПа.с}$$

Для расчета условной вязкости используем формулу (12):

$$\nu_t = 7,24BY_t - \frac{6,25}{BY_t}$$

$$6,2 = 7,24BY_{50} - \frac{6,25}{BY_{50}}$$

Преобразуем полученное уравнение в обычное уравнение 2-й степени типа:  $ax^2 + bx + c = 0$ , корни которого находим по известной формуле:

$$X_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$6,2 BY_{50} = 7,24 BY_{50}^2 - 6,25$$

$$7,24 BY_{50}^2 - 6,2 BY_{50} - 6,25 = 0$$

$$X_{1,2} = \frac{-(-6,2) \pm \sqrt{6,2^2 - 4 \cdot 7,24 \cdot (-6,25)}}{2 \cdot 7,24} = \frac{6,25 \pm \sqrt{38,44 + 181}}{14,48} = \frac{6,2 \pm \sqrt{219,44}}{14,48} = \frac{6,2 \pm 14,81}{14,48}$$

$$BY_{50} = 1,450$$

Второй корень – мнимое число.

### Пример 2

Динамическая вязкость *n*-октана при 0 и 40°C составляет  $0,714 \cdot 10^{-3}$  и  $0,435 \cdot 10^{-3}$  Па·с соответственно. Рассчитайте кинематическую и условную вязкость при 25°C

Решение:

Рассчитаем кинематическую вязкость октана при указанных температурах, воспользовавшись уравнением (11) и значением плотности *n*-октана при 20°C (см. Приложения, таблица П.2: для *n*-октана  $\rho_4^{20} = 0,703$  г/см<sup>3</sup>).

Для нахождения  $\rho_4^0$  и  $\rho_4^{40}$  используем уравнение (2):

$$\rho_4^{20} = \rho_4^t + \gamma(t - 20)$$

Значение  $\gamma$  определяем по таблице П.1 Приложения: значение  $\gamma$  для плотности в интервале 0,7000 – 0,7099 составляет 0,000897.

$$\rho_4^0 = \rho_4^{20} - \gamma(0 - 20) = 0,703 - 0,000897 \cdot (-20) = 0,703 + 0,0179 = 0,7209 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_4^{40} = \rho_4^{20} - \gamma(40 - 20) = 0,703 - 0,000897 \cdot 20 = 0,703 - 0,0179 = 0,6851 \text{ г/см}^3$$

Подставляя рассчитанные значения плотности в уравнение (11), находим:

$$\nu_0 = \frac{0,714}{0,7209} = 0,99 \text{ мм}^2 / \text{с}$$

$$\nu_{40} = \frac{0,435}{0,6851} = 0,63 \text{ мм}^2 / \text{с}$$

Для расчета  $\nu_{25}$  воспользуемся уравнением Вальтера (16), предварительно найдя значения A и B из системы уравнений:

$$\lg[\lg(\nu_0 + 0,6)] = A - B \lg 273$$

$$\lg[\lg(\nu_{40} + 0,6)] = A - B \lg 313$$

$$\lg[\lg(0,99 + 0,6)] = A - B \lg 273$$

$$\lg[\lg(0,63 + 0,6)] = A - B \lg 313$$

$$-0,6959 = A - B \cdot 2,346$$

$$-1,0378 = A - B \cdot 2,4955$$

Получаем  $A = 6,099$ ,  $B = 2,86$ , тогда

$$\lg[\lg(v_{25} + 0,6)] = 6,099 - 2,86 \cdot \lg(273 + 25)$$

Откуда  $v_{25} = 0,67 \text{ мм}^2/\text{с}$

Условную вязкость рассчитываем по уравнению (12)

$$v_{25} = 7,24 B U_{25} - \frac{6,25}{B U_{25}}$$

Преобразуем последнее уравнение в уравнение 2-й степени относительно  $B U_{25}$  аналогично предыдущему примеру и находим  $B U_{25} = 0,98^0$

### Молекулярная масса

Для индивидуальных веществ молекулярную массу подсчитывают по их химическим формулам и атомным массам элементов, входящих в состав молекулы. В случае нефтей и нефтяных фракций молекулярную массу рассчитывают по эмпирическим формулам. Результатом расчета является их средняя молекулярная масса. При этом, чем уже фракционный состав (пределы выкипания) нефтяной фракции, тем точнее будет значение найденной молекулярной массы.

Для нефтей и нефтепродуктов неизвестного состава определение молекулярной массы проводят по упрощенной формуле Воинова:

$$M_{cp} = 60 + 0,3 t_{cp} + 0,001 t_{cp}^2 \quad (17)$$

Эта формула дает удовлетворительный результат при расчете молекулярной массы парафинистых нефтепродуктов. Для смесей, богатых ароматическими углеводородами она не пригодна.

Средняя температура кипения фракции ( $t_{cp}$ ) может быть взята как температура 50 % ее отгона по ГОСТ или рассчитана по формуле:

$$t_{cp} = \frac{t_{н.к.} + t_{к.к.}}{2} \quad (18)$$

Где  $t_{н.к.}$  – температура начала кипения,  $^{\circ}\text{C}$

$t_{к.к.}$  – температура конца кипения,  $^{\circ}\text{C}$ .

В случае широкой фракции среднюю объемную температур определяют по формуле:

$$t_{cp} = \frac{t_{10\%} + t_{50\%} + t_{90\%}}{3} \quad \text{или} \quad (19)$$

$$t_{cp} = \frac{t_{10\%} + t_{20\%} + t_{30\%} + t_{40\%} + t_{50\%} + t_{60\%} + t_{70\%} + t_{80\%} + t_{90\%}}{9} \quad (20)$$

Где  $t_{10\%}$ ,  $t_{20\%}$ ,  $t_{30\%}$  и т.д. – температура выкипания соответственно 10, 20, 30.....% объ. нефтепродукта,  $^{\circ}\text{C}$  по ГОСТ 2177.

Для узкой нефтяной фракции молекулярная масса может быть рассчитана по формуле:

$$\lg(M + 100) = 2,2 + 0,11 \cdot \frac{t_{cp}}{100} \quad (21)$$

Если известна относительная плотность нефтяной фракции, ее среднюю молекулярную массу можно найти по формуле Крэга:

$$M_{cp} = \frac{44,29 \cdot \rho_{15}^{15}}{1,03 - \rho_{15}^{15}} \quad (22)$$

Связь между  $\rho_{15}^{15}$  и  $\rho_4^{20}$  определяется по формуле:

$$\rho_{15}^{15} = \rho_4^{20} + 5\gamma \quad (23)$$

Где  $\gamma$  – температурная поправка к плотности на 1 град, находится по справочным таблицам (см Приложение, таблица П.1).

Для расчета молекулярной массы узких нефтяных фракций можно использовать следующие эмпирические формулы:

$$\frac{100}{M} = \frac{2,04}{\rho_4^{20}} - 1,95 \quad (24)$$

$$\left. \begin{aligned} M &= 250 \cdot \sqrt{\lg(v_{20} + 0,8)} \\ M &= 300 \cdot \sqrt{\lg(v_{50} + 0,8)} \\ M &= 393 \cdot \sqrt{\lg(v_{100} + 0,8)} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Где  $v_{20}$ ,  $v_{50}$  и  $v_{100}$  – кинематическая вязкость фракции, мм<sup>2</sup>/с, при температуре соответственно 20, 50 и 100<sup>0</sup>С.

Молекулярная масса отдельных нефтяных фракций обладает свойством аддитивности. Поэтому среднюю молекулярную массу смеси нефтепродуктов можно рассчитать, зная молекулярную массу отдельных компонентов и их содержание в смеси:

$$M_{cp} = \sum X_i M_i = X_1 M_1 + X_2 M_2 + \dots + X_n M_n$$

$$M_{cp} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\bar{X}_i}{M_i}} = \frac{1}{\frac{\bar{X}_1}{M_1} + \frac{\bar{X}_2}{M_2} + \dots + \frac{\bar{X}_n}{M_n}} \quad (26)$$

$$M_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} G_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{G_i}{M_i}} = \frac{G_1 + G_2 + \dots + G_n}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2} + \dots + \frac{G_n}{M_n}}$$

Где  $X_i, \bar{X}_i$  – соответственно молярные и массовые доли компонентов в смеси

$G_i$  – масса компонентов в смеси, кг

$M_i$  – молекулярная масса компонентов в смеси

Пересчет массовой концентрации в молярную можно осуществить по формуле:

$$X_i = \bar{X}_i \cdot \frac{M_{cp}}{M_i} \quad (27)$$

### Примеры решения задач

#### Пример 1

Рассчитайте среднюю молекулярную массу фракции со средней температурой кипения 138<sup>0</sup>С

Решение

Используем формулу Воинова (17):

$$M_{cp} = 60 + 0,3 t_{cp} + 0,001 t_{cp}^2 = 60 + 0,3 \cdot 138 + 0,001 \cdot 138^2 = 60 + 41,4 + 19,0 = 120,4$$

#### Пример 2

Смесь состоит из 15 кг ундекана и 30 кг нефтепродукта с  $\rho_4^{20} = 0,9470$  г/см<sup>3</sup>. Рассчитайте среднюю молекулярную массу смеси.

Решение

Для расчета используем формулы (22, 23 и 26).

Согласно таблице П.1 (Приложение) значение  $\gamma$  для интервала плотности нефтепродукта 0,9400-0,9499 г/см<sup>3</sup> равно 0,000581. Следовательно, по формуле (23):

$$\rho_{15}^{15} = 0,9470 + 5 \cdot 0,000581 = 0,9499 \text{ г/см}^3$$

Далее по формуле Крэга (22) рассчитываем среднюю молекулярную массу нефтепродукта:

$$M_m = \frac{44,29 \cdot \rho_{15}^{15}}{1,03 - \rho_{15}^{15}} = \frac{44,29 \cdot 0,9499}{1,03 - 0,9499} = 525$$

Молекулярную массу смеси определяем по формуле (26)

$$M_{cp} = \frac{\frac{G_1 + G_2}{M_1 + M_2}}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2}} = \frac{\frac{15 + 30}{156 + 525}}{\frac{15}{156} + \frac{30}{525}} = \frac{45}{0,096 + 0,057} = \frac{45}{0,153} = 294$$

### Вопросы для защиты контрольной работы

1. Фракционный, химический, элементный состав нефти. Классификации нефти: химические, технологическая. Классификации газов.
2. Физико-химические свойства нефти.
3. Термические процессы превращения углеводородов нефти. Термические превращения углеводородов в газовой и жидкой фазах. Пиролиз. Образование нефтяного кокса. Виды крекинга. Каталитический крекинг и риформинг. Гидрокрекинг.
4. Классификация методов разделения компонентов нефти и нефтепродуктов: химические, физические, простые и сложные методы.
5. Перегонка, ректификация (азеотропная, экстрактивная), абсорбция, экстракция. Кристаллизация. Экстрактивная кристаллизация. (Применение этих методов в нефтепереработке)
6. Нефтепродукты: методы получения, классификация.
7. Бензины: состав, свойства, октановое число, антидетонаторы, фракционный состав бензинов, индукционный период, требования к качеству. Экологические требования к бензинам.
8. Дизельные топлива: классификация, состав, получение, показатели качества, свойства, цетановое число. Экологические требования к ДТ
9. Нефтяные масла. Классификация, состав. Физико-химические свойства моторных масел. Методы анализа моторных масел. Браковочные показатели.
10. Газообразные углеводородные топлива. Сжатые и сжиженные газы.
11. Мазуты: состав, классификации, показатели качества.
12. Нефтяные битумы.
13. Основные методы переработки нефти.