

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Химические технологии нефтегазового комплекса»

## ПРОМЫСЛОВАЯ ХИМИЯ

методические указания  
к выполнению контрольной работы

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2021

УДК 665.6/.7

Составитель: Шубина Елена Николаевна

**Промысловая химия:** методические указания / сост. Е.Н. Шубина; Донской гос. техн. ун-т. - Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – 43 с.

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Промысловая химия» содержат теоретический материал, типовые задачи и примеры их решения. Они составлены в соответствии с программой дисциплины «Промысловая химия» и предназначены для студентов направления 18.03.01 Химическая технология очной и заочной форм обучения.

## СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 1 - ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ.....	4
ТЕМА 2 - РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА УВЕЛИЧЕНИЕ И УМЕНЬШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ БУРОВОГО РАСТВОРА .....	6
ТЕМА 3 - РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА .....	9
ТЕМА 4 - СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ.....	11
ТЕМА 5 - РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ НЕФТИ.....	17
ТЕМА 6 - РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА .....	18
ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	20

## ТЕМА 1 - ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ

Важный аспект работы инженера по растворам включает химический анализ раствора, поскольку определенные химические характеристики могут серьезно повлиять на показатели раствора. Также вычисления необходимы для определения концентраций для обработки.

### Концентрация растворов

Концентрация раствора есть мера количества вещества, растворенного в определенном объеме или массе раствора.

*Это выражается различными способами:*

— масса растворяемого вв-ва/объем раствора — кг/м<sup>3</sup>, мг/л и т.д.;

— масса растворяемого вв-ва/масса раствора — %, доли, г/кг; при малых концентрациях имеет место выражение 1 мг/кг.

— объем растворяемого вв-ва/объем раствора — %.

*Молярность (M)* используется для лабораторного анализа. Раствор 1M содержит один моль вещества (молекулярный вес в граммах) в одном литре раствора.

$$C_M = \frac{n}{V}$$

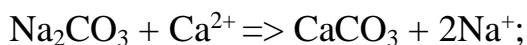
*Нормальность (N):* раствор 1N содержит один моль вещества (молекулярный вес в граммах), деленный на его валентность, в одном литре раствора.

$$C_N = \frac{m * 1000}{V * M_{\text{э}}}$$

*Моляльная концентрация* или моляльность показывает, сколько молей растворенного вещества содержится в одном килограмме растворителя.

$$C_m = \frac{m}{M * m_{\text{растворителя}}}$$

**Пример:** Посчитать массу кальцинированной соды, необходимой для нейтрализации ионов кальция в  $100 \text{ м}^3$  раствора с концентрацией  $\text{Ca}^{2+} = 1000 \text{ мг/л}$ .



### Решение

Из уравнения видно, что один моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  реагирует с одним молем  $\text{Ca}^{2+}$ . Молекулярная масса кальцинированной соды равна 106, кальция — 40,1 ( . Получаем, что 106 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  реагируют с 40,1 г  $\text{Ca}^{2+}$ . Следовательно  $100 \text{ м}^3$  бурового раствора содержат  $1 \text{ кг/м}^3$  на  $100 \text{ м}^3 = 100 \text{ кг}$   $\text{Ca}^{2+}$ .

Следовательно, масса необходимой кальцинированной соды равна:  
 $106/40,1$  на  $100 \text{ кг} = 264 \text{ кг}$

### Задачи

1. В 280 г воды растворили 40 г глюкозы. Определите массовую долю глюкозы в полученном растворе.

2. Какую массу раствора с массовой долей карбоната натрия 20% надо прибавить к 1 кг раствора с массовой долей сульфата кальция 50%, чтобы получить раствор с массовой долей сульфата кальция 10%?

3. Смешали 300 г раствора с массовой долей вещества 25% и 400 г раствора с массовой долей 40%. Определите массовую долю вещества в растворе. (33,6%.)

4. Какая масса воды и раствора с массовой долей гуара ( $\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_{15}$ ) 0,4 потребуется для приготовления 500 г раствора с массовой долей гуара 0,12?

5. Вычислите молярную и нормальную концентрации растворенного вещества: а) если в растворе объемом 740 мл содержится силиката натрия массой 50 г; б) если в растворе объемом 0,65 л содержится хлорид натрия массой 25,35 г;

6. Определите массу растворенного вещества, содержащегося в следующих растворах: а) раствор объемом 3 л с концентрацией 0,05 М хлорида железа (III); б) раствор объемом 2 л с концентрацией 0,5 М  $\text{AlCl}_3$ .

## ТЕМА 2 - РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА УВЕЛИЧЕНИЕ И УМЕНЬШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ БУРОВОГО РАСТВОРА

1 Определение количества глиноматериала и воды для приготовления глинистого раствора заданной плотности. Количество глиноматериала ( $q_{\text{гл}}$ ) в  $\text{кг}/\text{м}^3$  (глинопорошка или комовой глины), необходимое для приготовления 1  $\text{м}^3$  глинистого раствора заданной плотности, рассчитывают по формуле:

$$q_{\text{гл}} = \frac{\rho_{\text{гл}}(\rho_{\text{бр}} - \rho_{\text{в}})}{\rho_{\text{гл}} - \rho_{\text{в}} \left[ 1 - \frac{m_{\text{гл}}}{100} + \frac{m_{\text{гл}}\rho_{\text{гл}}}{100\rho_{\text{в}}} \right]}$$

где:  $\rho_{\text{гл}}$  - плотность глиноматериала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{бр}}$  - плотность бурового раствора,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,

$\rho_{\text{в}}$  - плотность воды,  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,

$m_{\text{гл}}$  - влажность глиноматериала, %.

Количество воды ( $q_{\text{в}}$ ) в  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , необходимое для приготовления 1  $\text{м}^3$  глинистого раствора заданной плотности, определяют по формуле:

$$\rho_{\text{в}} = (1 - \rho_{\text{гл}})/\rho_{\text{гл}}$$

Количество воды ( $V_{\text{в}}$ ) в  $\text{м}^3$  и глиноматериала ( $Q_{\text{гл}}$ ) в кг, необходимое для приготовления заданного объема бурового раствора, находят соответственно по формулам:

$$V_{\text{в}} = V_{\text{бр}} * q_{\text{в}}$$

$$Q_{\text{гл}} = V_{\text{бр}} * q_{\text{гл}}$$

2 Определение количества глинистого раствора, образующегося самозамесом при разбуhrивании глинистых пачек разреза. Объем глины ( $V_{\text{гл}}$ ) в  $\text{м}^3$ , переходящей в буровой раствор в процессе разбуhrивания глинистой пачки, залегающей во вскрываемом скважиной геологическом разрезе, рассчитывают по формуле:

$$V_{\text{гл}} = 1,785 \cdot d_c^2 h$$

где:  $d_c$  - диаметр открытого ствола скважины, м;

$h$  - мощность глинистой пачки, подлежащей разбуhrиванию, м.;

Если глинистых пачек несколько, их объемы суммируют.

Массу чистой глины ( $M_{\text{гл}}$ ) в кг, подлежащей разбуhrиванию (за вычетом содержащихся в ней песка и других примесей), определяют по формуле:

$$M_{\text{гл}} = [1 - \Pi_r/100] \cdot \rho_{\text{гл}} \cdot V_{\text{гл}}$$

где:  $\Pi_r$  - содержание песка и других примесей в глиноматериале, %.

Объем глинистого раствора ( $V_{\text{гр}}$ ) в м<sup>3</sup>, получаемого самозамесом, находится по формуле:

$$V_{\text{гр}} = \frac{M_{\text{гл}}(\rho_{\text{гл}} - \rho_{\text{в}})}{\rho_{\text{гл}}(\rho_{\text{бр}} - \rho_{\text{в}})}$$

а объем воды ( $V_{\text{в}}$ ) в м<sup>3</sup>, необходимый для этого, - по формуле:

$$V_{\text{в}} = \frac{V_{\text{гр}}(\rho_{\text{гл}} - \rho_{\text{бр}})}{\rho_{\text{гл}} - \rho_{\text{в}}}$$

3 Определение количества утяжелителя, необходимого для утяжеления бурового раствора.

Количество утяжелителя ( $q_{\text{ут}}$ ) в кг/м<sup>3</sup>, которое требуется для утяжеления 1 м<sup>3</sup> бурового раствора, имеющего первоначальную плотность  $\rho_{\text{бр}}$ , до плотности  $\rho_{\text{бру}}$ , можно рассчитать по формуле:

$$q_{\text{ут}} = \frac{\rho_{\text{ут}}(\rho_{\text{убр}} - \rho_{\text{бр}})}{\rho_{\text{ут}} - \rho_{\text{убр}} \left[ 1 - \frac{m_{\text{ут}}}{100} + \frac{m_{\text{ут}}\rho_{\text{ут}}}{100\rho_{\text{в}}} \right]}$$

где:  $\rho_{\text{ут}}$  - плотность утяжелителя, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{убр}}$  - плотность утяжеленного бурового раствора, кг/м<sup>3</sup>;

$m_{\text{ут}}$  - влажность утяжелителя, %.

Полное количество утяжелителя ( $Q_{\text{ут}}$ ) в кг, необходимое для утяжеления известного объема бурового раствора, определяют по формуле:

$$Q_{\text{ут}} = V_{\text{бр}} \cdot q_{\text{ут}}$$

4 Определение объема воды, необходимой для разбавления бурового раствора

Количество воды ( $V_{вр}$ ) в  $\text{м}^3$ , которое требуется для разбавления бурового раствора с целью снижения его плотности, находят по формуле:

$$V_{вр} = \frac{V_{бр}(\rho_{бр} - \rho_{разб})}{\rho_{разб} - \rho_{в}}$$

где  $\rho_{разб}$  - плотность разбавленного бурового раствора,  $\text{кг/м}^3$ .

## 5 Смешивание буровых растворов, имеющих разные плотности

Если имеется известный объем бурового раствора  $V_{бр}$  плотностью  $\rho_{бр}$ , а также имеется другой буровой раствор плотностью  $\rho_{доб}$  ( $\rho_{бр} < \rho_{доб}$ ), то объем второго бурового раствора ( $V_{доб}$ ) в  $\text{м}^3$ , который необходимо добавить для увеличения плотности первого раствора с  $\rho_{бр}$  до  $\rho_{убр}$ , определяют по формуле:

$$V_{доб} = \frac{V_{бр}(\rho_{убр} - \rho_{бр})}{\rho_{доб} - \rho_{убр}}.$$

Задачи:

7. Определить сколько потребуется бентонитовой глины ( $q_{гл} = 2,5 \text{ г/см}^3$ ) и воды, чтобы получить раствор, объем которого  $V_{Б.Р.} = 50 \text{ м}^3$ , а плотность  $\rho_{бр} = 1,5 \text{ г/см}^3$ .

8. Определить количество утяжелителя плотностью  $\rho_{ут} = 4,3 \text{ г/см}^3$ , которое необходимо добавить к буровому раствору для увеличения его плотности до  $\rho_{бр} = 1,6 \text{ г/см}^3$ . В буровой раствор объемом  $V_{Б.Р.} = 10 \text{ м}^3$ , плотностью  $\rho_{бр} = 1,2 \text{ г/см}^3$  добавлено  $Q_{б} = 2 \text{ т}$  бентонита плотностью  $\rho_{б} = 2,6 \text{ г/см}^3$ .

9. Определить количество сухой глины плотностью  $q_{гл} = 2,6 \text{ г/см}^3$ , которое необходимо добавить к объему бурового раствора ( $V_{Б.Р.} = 10 \text{ м}^3$ ) плотностью  $\rho_{бр} = 1,15 \text{ г/см}^3$  для увеличения плотности раствора до  $\rho_{бр} = 1,25 \text{ г/см}^3$ .

10. Определить плотность бурового раствора, если к объему бурового раствора ( $V_{Б.Р.} = 40 \text{ м}^3$ ) плотностью  $\rho_{бр} = 1,5 \text{ г/см}^3$  добавить  $V_{Б.Р.} = 20 \text{ м}^3$  бурового раствора плотностью  $\rho_{бр}' = 1,25 \text{ г/см}^3$ .



11. Определить количество бурового раствора плотностью  $\rho_{бр} = 1,15$  г/см<sup>3</sup> добавляемого к буровому раствору для уменьшения его плотности от  $\rho_{бр}' =$

1,35 г/см<sup>3</sup> до 1,2 г/см<sup>3</sup>. Объем циркулирующего бурового раствора в скважине составляет  $V_{б.р.} = 30$  м<sup>3</sup>.

12. Определить количество воды, добавляемой к буровому раствору для уменьшения ее плотности от  $\rho_{бр} = 1,3$  до  $\rho_{бр}' = 1,1$  г/см<sup>3</sup>. Объем циркулирующего бурового раствора в скважине составляет  $V_{б.р.} = 60$  м<sup>3</sup>.

### ТЕМА 3 - РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

Основными расчётными показателями процесса ГРП является давление разрыва пласта, расход рабочих жидкостей и песка, радиус трещин, число насосных агрегатов и авто цистерн.

1. Определяем давление разрыва пласта; в МПа

$$P_p = P_{в.г.} - P_{пл} + P_{рас}, \quad (1)$$

где  $P_{в.г.}$  - вертикальное горное давление, МПа;

$P_{пл}$  - пластовое давление, МПа;

$P_{рас}$  - давление расслоения горных пород, принимают  $P_{рас} = 1,5$  МПа

Вертикальное горное давление составит:

$$P_{в.г.} = \rho_n \cdot g \cdot H \quad (2)$$

где  $\rho_n$  — плотность вышележащих пород,  $\rho_n = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;

$g$  — ускорение свободного падения;

$H$  — глубина скважины, м.

2. Давление на устье скважины, МПа

$$P_y = P_p - \rho_{ж.п.} \cdot g \cdot H + \Delta P_{тр} \quad (3)$$

где  $\rho_{ж.п.}$  - плотность жидкости с песком, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_{ж.п.} = \rho'_{ж.п.} \cdot (1 - \beta_{п.}) + \rho_{п.} \cdot \beta_{п.} \quad (4)$$

где  $\rho'_{\text{ж.п.}}$  - плотность жидкости песконосителя, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta_{\text{п}}$  - объёмная концентрация песка в смеси;

$\rho_{\text{п}}$  - плотность песка, принимаем:  $\rho_{\text{п}} = 2600$  кг/м<sup>3</sup>.

$$\beta_{\text{п}} = \frac{C_{\text{п}} / \rho_{\text{п}}}{C_{\text{п}} / \rho_{\text{п}} + 1} \quad (5)$$

где  $C_{\text{п}}$  - концентрация песка в смеси, зависит от вязкости жидкости-песконосителя и темпа её закачки,  $C_{\text{п}} = 250 \dots 300$  кг/м<sup>3</sup>, для 1 варианта примем 250 кг/м<sup>3</sup>, для 2 – 280 кг/м<sup>3</sup>, для 3 – 300 кг/м<sup>3</sup>.

Потери давления на трение  $\Delta P_{\text{тр}}$  (МПа) рассчитываем по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{H \cdot v^2}{d_{\text{вн}} \cdot 2} \cdot \rho_{\text{ж.п.}} \quad (6)$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления, определяется в зависимости от числа Рейнольдса;

$v$  - скорость движения жидкости в трубах, м/с;

$d_{\text{вн}}$  - внутренний диаметр НКТ, м.

При отсутствии необходимой литературы можно принять приближённо  $v = 5,5$  м/с.

$$\lambda = 0,035 \text{ при } \mu_{\text{ж.п.}} = 50 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

$$\lambda = 0,05 \text{ при } \mu_{\text{ж.п.}} = 250 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

$$\lambda = 0,1 \text{ при } \mu_{\text{ж.п.}} = 500 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

3. Объём жидкости разрыва устанавливаем исходя из конкретных условий. По опытным данным объём жидкости разрыва изменяется от 4 до 6 м<sup>3</sup> на 10 м толщины пласта.

4. Определяем объём жидкости песконосителя:

$$V_{\text{ж.п.}} = \frac{Q_{\text{п}}}{C_{\text{п}}}, \text{ м}^3 \quad (7)$$

где  $Q_{\text{п}}$  - количество песка, кг (считается целесообразным закачивать 6-10 т песка)

$C_{\Pi}$  - концентрация песка в смеси, зависит от вязкости жидкости-песконосителя и темпа её закачки.

5. Определяем объём продавочной жидкости при закачке в НКТ

$$V_{\text{пр}} = 0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot H, \text{ м}^3 \quad (8)$$

6. Определяем необходимое число насосных агрегатов

$$N = \frac{P_y \cdot Q}{P_{\text{агр}} \cdot q \cdot k}, \quad (9)$$

где  $Q=0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ - темп закачки;

$P_{\text{агр}}$ - рабочее давление агрегата, МПа;

$q$  – подача агрегата при данном давлении,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$k=0,5 \dots 0,8$  – коэффициент технического состояния агрегата.

### Задание

Произведите расчёт основных показателей процесса гидравлического разрыва пласта (ГРП), осуществляемого в скважине.

Данные для расчета:

Наименование исходных данных	Варианты					
	13	14	15	16	17	18
Глубина скважины Н, м	1902	2100	2500	2000	2050	2350
Толщина пласта h, м	20	22	21	20	21	22
Пластовое давление $P_{\text{пл}}$ , МПа	20	9,5	15	13	17	19
Плотность жидкости песконосителя $\rho_{\text{ж.п.}}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	1011	1000	1002	1000	1010	1015
Вязкость жидкости песконосителя $\mu_{\text{ж.п.}}$ , МПа*с	500	50	250	100	115	150
Внутренний диаметр колонны, мм	146	240	265	200	230	250
Подача агрегата при данном давлении, $\text{м}^3/\text{с}$	0.0197	0.01	0.0056	0,012	0,008	0,009
Рабочее давление агрегата, МПа	15	17	20	16	19	18

## ТЕМА 4 - СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Концепция материального баланса базируется на законе сохранения масс.

I. Общий объём эквивалентен сумме объемов компонентов по перечню

$$V_{\text{общ}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots$$

II. Общая масса эквивалентна сумме масс компонентов по перечню

$$V_{\text{общ}} \rho_{\text{общ}} = V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2 + V_3 \rho_3 + V_4 \rho_4 + \dots$$

При составлении массового баланса, во-первых, определяются по известным и неизвестным объемам и плотностям для идентификации компонентов или продуктов.

### Пример 1. Приготовление утяжеленного раствора

#### Исходные данные

Приготовить раствор в объеме 159 м<sup>3</sup> с плотностью 1,92 кг/м<sup>3</sup>, содержащего 57 кг/м<sup>3</sup> бентонита, используя в качестве утяжелителя барит.

Отображаются известные и неизвестные плотности и объемы.

Компонент	Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Объем (м <sup>3</sup> )
Вода	1000	?
Бентонит	2600	3,5 (расчет ниже)
Барит	4194	?
Прочие добавки	-	-
Раствор	1920	159

*Расчет объема бентонита.*

$$V_{\text{бент}} = \frac{Q_{\text{бент}} \cdot V_{\text{бент}}}{\rho_{\text{бент}}} = \frac{57 \cdot 159}{2600} = 3,5 \text{ м}^3$$

Составляются уравнения баланса масс и объемов.

$$V_{\text{раств}} \times \rho_{\text{раств}} = V_{\text{воды}} \times \rho_{\text{воды}} + V_{\text{бент}} \times \rho_{\text{бент}} + V_{\text{утяж}} \times \rho_{\text{утяж}}$$

$$V_{\text{раств}} = V_{\text{воды}} + V_{\text{бент}} + V_{\text{утяж}}$$

В приведенном уравнении баланса масс есть два неизвестных значения —  $V_{\text{утяж}}$  и  $V_{\text{воды}}$ . Первый из неизвестных элементов обозначается через выражение и подставляется в баланс.

$$159 = V_{\text{воды}} + 3,5 + V_{\text{утяж}}$$

$$V_{\text{утяж}} = (159 - 3,5) - V_{\text{воды}} = 155,5 - V_{\text{воды}}$$

Выражение подставляется в массовый баланс и определяется результат.

$$V_{\text{раств}} \times \rho_{\text{раств}} = V_{\text{воды}} \times \rho_{\text{воды}} + V_{\text{бент}} \times \rho_{\text{бент}} + V_{\text{утяж}} \times \rho_{\text{утяж}}$$

$$159 \times 1920 = V_{\text{воды}} \times 1000 + 3,5 \times 2600 + (155,5 - V_{\text{воды}}) \times 4194$$

$$305280 = V_{\text{воды}} \times 1000 + 9100 + 652167 - V_{\text{воды}} \times 4194$$

$$V_{\text{воды}} \times (4194 - 1000) = 9100 + 652167 - 305280 = 355987$$

$$V_{\text{воды}} = 355987 / 3194 = 111,45 \text{ м}^3$$

Второй неизвестный элемент находится по формуле баланса объемов.

$$V_{\text{утяж}} = 155,5 - V_{\text{воды}} = 155,5 - 111,45 = 44 \text{ м}^3$$

$$Q_{\text{утяж}} = V_{\text{утяж}} \times \rho_{\text{утяж}} = 44 \text{ м}^3 \times 4194 \text{ кг/м}^3 = 184\,536 \text{ кг}$$

Следственно, для приготовления 159 м<sup>3</sup> раствора с плотностью 1,92 г/см<sup>3</sup> с содержанием бентонита 57 кг/м<sup>3</sup> необходимы следующие реагенты и их количество:

Вода 111,45 м<sup>3</sup>

Бентонит 9100 кг

Барит 184536 кг

**Пример 2.** Приготовление ингибированного раствора на водной основе.

### Исходные данные

Определить доли материалов в растворе объемом 159 м<sup>3</sup> плотностью 1,678 кг/м<sup>3</sup>, содержащего бентонит (концентрация 42,8 кг/м<sup>3</sup>), соль (концентрация хлоридов 150 000 мг/л), барит.

Распределяем плотности и объемы, которые известны и неизвестны.

Компонент	Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Объем (м <sup>3</sup> )
Рассол	?	?
Бентонит	2600	2,6(расчет)
Барит	4194	?
Готовый раствор	1678	159

Расчет объема бентонита.

$$V_{\text{бент}} = \frac{Q_{\text{бент}} \cdot V_{\text{бент}}}{\rho_{\text{бент}}} = \frac{42,8 \cdot 159}{2600} = 2,6 \text{ м}^3$$

*Определение плотности рассола.*

Для определения плотности рассола нельзя составить уравнение материального баланса, т.к. объем кристаллов соли изменяется при растворении. Используется следующая формула для определения плотности рассолов хлорида натрия:

$$\rho_{\text{рассола}} = 1 + 1,166 \times 10^{-6} \times (\text{мг/л Cl}^-) - 8,375 \times 10^{-13} \times (\text{мг/л Cl}^-)^2 + \\ + 1,338 \times 10^{-18} \times (\text{мг/л Cl}^-)^3$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{рассола}} &= 1 + 1,166 \times 10^{-6} \times (150\,000) - 8,375 \times 10^{-13} \times (150\,000)^2 + \\ &+ 1,338 \times 10^{-18} \times (150\,000)^3 = 1 + 0,1749 + 0,01884 + 0,004516 = \\ &= 1,1605 \text{ г/см}^3\end{aligned}$$

Составляется уравнение баланса масс и объемов.

$$V_{\text{раств}} \rho_{\text{раств}} = V_{\text{рассол}} \rho_{\text{рассол}} + V_{\text{бент}} \rho_{\text{бент}} + V_{\text{барит}} \rho_{\text{барит}}$$

$$V_{\text{раств}} = V_{\text{рассол}} + V_{\text{бент}} + V_{\text{барит}}$$

Решается система уравнений.

$$159 = V_{\text{рассол}} + 2,6 + V_{\text{барит}}$$

$$V_{\text{барит}} = 159 - 2,6 - V_{\text{рассол}} = 156,4 - V_{\text{рассол}}$$

$$V_{\text{раств}} \times \rho_{\text{раств}} = V_{\text{рассол}} \times \rho_{\text{рассол}} + V_{\text{бент}} \times \rho_{\text{бент}} + V_{\text{барит}} \times \rho_{\text{барит}}$$

$$159 \times 1678 = V_{\text{рассол}} \times 1160 + 2,6 \times 2600 + 156,4 - V_{\text{рассол}} \times 4194$$

$$266\,802 = V_{\text{рассол}} \times 1160 + 6760 + 655941,6 - V_{\text{рассол}} \times 4194$$

$$V_{\text{рассол}} (4194 - 1160) = 6760 + 655941,6 - 266\,802 = 395899,6$$

$$V_{\text{рассол}} = 395899,6 / 3034 = 130,5$$

$$V_{\text{барит}} = V_{\text{раств}} - V_{\text{бент}} + V_{\text{рассол}} = 159 - 2,6 + 130,5 = 25,9$$

$$Q_{\text{барит}} = 25,9 \times 4194 = 108624,6$$

Объем пресной воды, необходимой для приготовления рассола заданной плотности определяется по формулам с использованием таблиц солей.

$$0,913 \times 130,5 = 119,2$$

Итак, для приготовления 159 м<sup>3</sup> соленого раствора плотностью 1678 кг/м<sup>3</sup> с содержанием 42,8 кг/м<sup>3</sup> бентонита и 150 000 мг/л ионов хлора необходимо использовать:

Пресная вода 119,2 м<sup>3</sup>

Хлорид натрия 395899,6 кг

Бентонит 6760 кг

Барит 108624,6 кг

**Пример 3.** Смешивание растворов

#### Исходные данные

В каких количествах необходимо смешать растворы с различными плотностями для получения 159 м<sup>3</sup> с плотностью 1678 кг/м<sup>3</sup>?

Используемые растворы:

раствор №1 — плотность 1342 кг/м<sup>3</sup>, объем 191 м<sup>3</sup>;

раствор №2 — плотность 1845 кг/м<sup>3</sup>, объем 191 м<sup>3</sup>.

Определяем известные и неизвестные компоненты.

Компонент	Плотность(кг/м <sup>3</sup> )	Объем(м <sup>3</sup> )
Раствор №1	1342	?
Раствор №2	1845	?
Смешанный раствор	1678	159

Составляем уравнения баланса масс и объемов.

$$V_{\text{конеч}} \times \rho_{\text{конеч}} = V_{\text{раств1}} \times \rho_{\text{раств1}} + V_{\text{раств2}} \times \rho_{\text{раств2}}$$

$$V_{\text{конеч}} = V_{\text{раств1}} + V_{\text{раств2}}$$

И снова имеются два неизвестных ( $V_{\text{раств1}}$  и  $V_{\text{раств2}}$ ). Определяем объемный баланс для первого неизвестного и подставляем значение в массовый баланс.

$$159 = V_{\text{раств1}} + V_{\text{раств2}}$$

$$V_{\text{раств2}} = 159 - V_{\text{раств1}}$$

Решаем систему уравнений:

$$V_{\text{конеч}} \times \rho_{\text{конеч}} = V_{\text{раств1}} \times \rho_{\text{раств1}} + V_{\text{раств2}} \times \rho_{\text{раств2}}$$

$$159 \times 1678 = V_{\text{раств1}} \times 1342 + (159 - V_{\text{раств1}}) \times 1845$$

$$266\,802 = (V_{\text{раств1}} \times 1342) + 293\,355 - (V_{\text{раств1}} \times 1845)$$

$$V_{\text{раств1}}(1845 - 1342) = 293\,355 - 266\,802 = 26\,553$$

$$V_{\text{раств1}} = 26\,553 / 503 = 52,8 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{раств2}} = 159 - V_{\text{раств1}}$$

$$V_{\text{раств2}} = 159 - 52,8 = 106,2 \text{ м}^3$$

Следовательно, для приготовления 159 м<sup>3</sup> раствора с плотностью 1678 кг/м<sup>3</sup> следующие объемы заготовочного раствора необходимо смешать:

Раствор №1, плотность 1342 кг/м<sup>3</sup> — 53 м<sup>3</sup>.

Раствор №2, плотность 1845 кг/м<sup>3</sup> — 106 м<sup>3</sup>.

Данный пример можно преобразовать в формулу для определения ожидаемой плотности конечного раствора, полученного после смешивания двух растворов с известными параметрами.

$$\rho_{\text{кон}} = \frac{(V_{\text{раств1}} \times \rho_{\text{раств1}})(V_{\text{раств2}} \times \rho_{\text{раств2}})}{V_{\text{раств1}} + V_{\text{раств2}}}, \text{ кг/м}^3$$

**Задачи:**

19. Приготовить раствор в объеме 200 м<sup>3</sup> с плотностью 1,85 кг/м<sup>3</sup>, содержащего 60 кг/м<sup>3</sup> бентонита, используя в качестве утяжелителя барит.

20. Определить доли материалов в растворе объемом 172 м<sup>3</sup> плотностью 1,723 кг/м<sup>3</sup>, содержащего бентонит (концентрация 45 кг/м<sup>3</sup>), соль (концентрация хлоридов 200 000 мг/л), барит.

21. В каких количествах необходимо смешать растворы с различными плотностями для получения 165 м<sup>3</sup> с плотностью 1,788 кг/м<sup>3</sup>? Используемые растворы: раствор №1 — плотность 1,456 кг/м<sup>3</sup>, объем 165 м<sup>3</sup>; раствор №2 — плотность 1,870 кг/м<sup>3</sup>, объем 165 м<sup>3</sup>.

22. Приготовить раствор в объеме 100 м<sup>3</sup> с плотностью 1,65 кг/м<sup>3</sup>, содержащего 50 кг/м<sup>3</sup> бентонита, используя в качестве утяжелителя барит.

23. Определить доли материалов в растворе объемом 150 м<sup>3</sup> плотностью 1,61 кг/м<sup>3</sup>, содержащего бентонит (концентрация 48 кг/м<sup>3</sup>), соль (концентрация хлоридов 300 000 мг/л), барит.

24. В каких количествах необходимо смешать растворы с различными плотностями для получения 170 м<sup>3</sup> с плотностью 1,716 кг/м<sup>3</sup>? Используемые растворы: раствор №1 — плотность 1,415 кг/м<sup>3</sup>, объем 170 м<sup>3</sup>; раствор №2 — плотность 1,625 кг/м<sup>3</sup>, объем 165 м<sup>3</sup>.



## ТЕМА 5 - РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ НЕФТИ

В практике добычи нефти встречаются случаи отсутствия достаточной информации о некоторых свойствах нефти, например, о динамической вязкости  $\eta_n$ . Для оценки относительной вязкости нефти при стандартных условиях можно использовать формулы И.И. Дунюшкина:

$$\bar{\eta}_{\text{нст}} = \left[ \frac{0,658 \bar{\rho}_n^2}{0,886 - \bar{\rho}_n^2} \right]^2, \text{ при } 0,845 < \bar{\rho}_n < 0,924,$$

$$\bar{\eta}_{\text{нст}} = \left[ \frac{0,456 \bar{\rho}_n^2}{0,833 - \bar{\rho}_n^2} \right]^2, \text{ при } 0,78 < \bar{\rho}_n \leq 0,845,$$

где  $\bar{\eta}_{\text{нст}}$  – относительная вязкость нефти при стандартных условиях;

$\bar{\rho}_n$  – относительная плотность нефти при стандартных условиях.

Вязкость дегазированной нефти можно определить по формуле:

$$\eta_{\text{нст}} = \eta_{\text{вст}} \bar{\eta}_{\text{нст}}$$

$\eta_{\text{вст}}$  – это вязкость дистиллированной воды при стандартных условиях, равная 1 мПа\*с.

Зависимость вязкости дегазированной нефти от температуры выражается формулой И.И. Дунюшкина:

$$\bar{\eta}_{\text{нт}} = \frac{(c \bar{\eta}_{\text{нст}})^a}{c}$$

$\bar{\eta}_{\text{нт}}$  – относительная динамическая вязкость дегазированной нефти при рабочей температуре,

$a$  – коэффициент, определяемый по уравнению:

$$a = \frac{1}{1 + b(t - 20) \lg(c \bar{\eta}_{\text{нст}})}$$

где  $b$ ,  $c$  – коэффициенты, зависящие от вязкости дегазированной нефти и определяемые по следующим зависимостям:

$\bar{\eta}_{\text{нст}}$	$b, 1/^\circ\text{C}$	$c$
$\bar{\eta}_{\text{нст}} > 1000$	0,00252	10
$10 \leq \bar{\eta}_{\text{нст}} \leq 1000$	0,00144	100
$\bar{\eta}_{\text{нст}} < 10$	0,00076	1000

Для определения кинематической вязкости нефти следует использовать следующую зависимость:

$$\nu_{\text{нт}} = \frac{\eta_{\text{нт}}}{10^{-3} \rho_{\text{нт}}}$$

$\nu_{\text{нт}}$  – кинематическая вязкость дегазированной нефти при рабочих условиях, м<sup>2</sup>/с,

$\eta_{\text{нт}}$  – динамическая вязкость дегазированной нефти при рабочих условиях, мПа\*с,

$\rho_{\text{нт}}$  – плотность нефти при рабочих условиях.

**Задача:** Рассчитать динамическую вязкость дегазированной нефти при заданной температуре.

№ варианта	относительная плотность при ст.у.	плотность нефти при раб.у. , кг/м <sup>3</sup>	рабочая температура, К
------------	-----------------------------------	--	------------------------

25	0,840	850	278
26	0,825	870	286
27	0,900	863	310
28	0,790	830	307
29	0,840	870	328
30	0,865	860	278

## ТЕМА 6 - РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Основными свойствами газа, необходимыми для выполнения технологических расчетов, являются: плотность, молярная масса, псевдокритические температура и давление, относительная плотность газа по воздуху, коэффициент сверхсжимаемости газа, а также массовый и объемный расходы пластового флюида.

Некоторые свойства отдельных компонентов природных газов (молекулярная масса, плотность при стандартных условиях, критические температура и давление).

Молярная масса вещества определяется по формуле аддитивности (сложения):

$$M = a_1 M_1 + a_2 M_2 + \dots + a_n M_n$$

где  $M_i$  – молярная масса отдельного компонента кг/кмоль;

$a_i$  – доля каждого компонента в смеси для данного состава.

Плотность газа при стандартных условиях также можно определить по правилу адитивности.

Плотность газа при известной молекулярной массе газовой смеси при стандартных условиях вычисляется по формуле:

$$\rho_{ст} = \frac{M}{24,05}$$

Относительная плотность газа по воздуху может быть определена по формуле:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_{воз}}$$

$\rho_{воз}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>

При расчетах следует помнить, что плотность воздуха при ну составляет 1,293 кг/м<sup>3</sup>, а при стандартных 1,205 кг/м<sup>3</sup>.

Для определения коэффициента сверхсжимаемости  $z$  необходимо знать псевдокритическую температуру и давление, которые вычисляются по формулам:

$$P_{\text{пкр}} = a_1 P_{\text{кр1}} + a_2 P_{\text{кр2}} + \dots + a_n P_{\text{н1}},$$

$$T_{\text{пкр}} = a_1 T_{\text{кр1}} + a_2 T_{\text{кр2}} + \dots + a_n T_{\text{н1}},$$

$P_{\text{кр}i}$  – критическое давление отдельных компонентов газовой смеси, МПа  
 $T_{\text{кр}i}$  – критическая температура отдельных компонентов газовой смеси, К.

В случае отсутствия данных по компонентному составу газа псевдокритические параметры можно определить, используя относительную плотность газа по воздуху:

$$P_{\text{пкр}} = 4,937 - 0,464\bar{\rho}$$

$$T_{\text{пкр}} = 171,5\bar{\rho} + 97$$

По вычисленным параметрам можно определить приведенные параметры газовой смеси:

$$P_{\text{пк}} = \frac{P_{\text{раб}}}{P_{\text{пкр}}}$$

$$T_{\text{пк}} = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{пкр}}}$$

$P_{\text{раб}}, T_{\text{раб}}$  – соответственно давление и температура при рабочих давлениях.

Коэффициент сжимаемости учитывает отклонение свойств природного газа от законов идеального газа.

$$z = 1 - \frac{0,0241 P_{\text{пк}}}{1 - 1,68 * T_{\text{пк}} + 0,78 * T_{\text{пк}}^2 + 0,0107 * T_{\text{пк}}^3}$$

На основании полученных данных можно определить плотность газа при рабочих условиях:

$$\rho_{\text{п.у.}} = \frac{\rho_{\text{ст}} P_{\text{раб}} T_{\text{ст}}}{z P_{\text{ст}} T_{\text{раб}}}$$

**Задача.** В результате однократного разгазирования пластовой нефти получен нефтяной газ. Состав газа:  $\text{CH}_4$  – 0,46;  $\text{C}_2\text{H}_6$  – 0,17;  $\text{C}_3\text{H}_8$  – 0,21;  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – 0,16. Для рабочих давлений и температуры необходимо рассчитать молекулярную массу выделившегося газа, его плотность при нормальных и рабочих условиях, относительную плотность по воздуху и коэффициент сжимаемости.

№ варианта	Рабочее давление, МПа	Рабочая температура, К
31	2	290
32	1	285
33	0,9	315
34	2,6	305
35	3,1	275
36	1,5	310

## ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

В процессе изучения курса «Промысловая химия» студент-заочник должен выполнить контрольную работу. К выполнению контрольной работы можно приступить только после усвоения теоретической части курса и решения примеров типовых задач. Каждый студент выполняет вариант заданий, соответствующий двум последним цифрам номера студенческого билета (таблица). Например, номер студенческого билета 98546, две последние цифры 46, им соответствует вариант контрольного задания под номером 7 (согласно объяснениям, приведенным ниже таблицы). Контрольная работа должна быть аккуратно оформлена; для замечаний рецензента нужно оставлять широкие поля; писать четко и ясно; номера и условия задач переписывать полностью и в том порядке, в каком они указаны в задании. В конце работы следует дать список использованной литературы. Ссылки на используемую литературу оформляют в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008. Пример правильного оформления ссылок на учебники – в библиографическом списке рекомендуемой литературы.

Таблица – Варианты и задачи для контрольной работы

Последние цифры номера зачетной книжки*	№ варианта	Номера задач, относящихся к данному варианту					
		1	12	13	24	26	33
X0	1	1	12	13	24	26	33
X1	2	2	11	14	23	27	34
X2	3	3	10	15	22	28	35
X3	4	4	9	16	21	29	36
X4	5	5	8	17	20	30	31
X5	6	6	7	18	19	25	32
X6	7	1	11	18	19	26	33
X7	8	2	10	17	20	27	34
X8	9	3	9	16	21	28	35
X9	10	4	8	15	22	29	36
Y0	11	5	7	14	23	30	31
Y1	12	6	12	13	24	25	32
Y2	13	1	10	13	24	26	33
Y3	14	2	9	12	23	27	34
Y4	15	3	8	15	22	28	35
Y5	16	4	7	16	21	29	36
Y6	17	5	11	17	20	30	31
Y7	18	6	12	18	19	25	32
Y8	19	1	9	18	19	26	34
Y9	20	2	8	17	20	27	35

\*- где X – это любая цифра от 0 до 4; а Y – это любая цифра от 5 до 9

Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, преподавателем не рецензируется и не засчитывается как сданная.