

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.01.2022 13:43:26

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda511089

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии  
УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

  
О.Г. Локтионова

« 17 »



2022 г.

Стехиометрические расчёты в химической технологии

Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по курсам «Технохимические расчеты» и «Балансовые расчеты в химической практике» для студентов направления подготовки 18.03.01 - Химическая технология

Курск 2022

Курск 2022

УДК 66.02(075.8)

Составитель: С.Д. Пожидаева

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент *Г.В. Бурых*

**Стехиометрические расчёты в химической технологии:** Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по курсам «Технохимические расчеты» и «Балансовые расчеты в химической практике» для студентов направления подготовки 18.03.01 - Химическая технология/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: С.Д. Пожидаева. Курск, 2022. 34 с. табл. 5. рис. 5.

Содержат методические указания к выполнению практической и самостоятельной работы.

Приведены содержание и объём практических работ, а также методика их проведения, основные методы решения задач, что помогает понять теоретические положения курса. В методические указания включены вопросы для повторения пройденного материала.

Методические указания предназначены для бакалавров направления 18.03.01 - «Химическая технология».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 17.04.2022 . Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 2,0. Уч.-изд.л. 4,8. Тираж 35 экз. Заказ 35 . Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение   | 4  |
| Практическая работа №1 Способы выражения концентраций и состава газообразных, жидких и твердых веществ                               | 5  |
| Задачи для решения под контролем преподавателя   | 5  |
| Задание для индивидуальной и самостоятельной работы  | 6  |
| Практическая работа №2 Приготовление растворов разбавлением  | 9  |
| Задачи для решения под контролем преподавателя   | 10 |
| Задание для индивидуальной и самостоятельной работы  | 13 |
| Практическая работа №3 Стехиометрический баланс  | 14 |
| Задачи для решения под контролем преподавателя   | 15 |
| Задание для индивидуальной и самостоятельной работы  | 17 |
| Практическая работа №4 Быстрые способы стехиометрических расчетов  | 20 |
| Задачи для решения под контролем преподавателя   | 20 |
| Задание для индивидуальной и самостоятельной работы  | 23 |
| Практическая работа №5 Элементарные балансовые расчеты, основанные на стехиометрических уравнениях реакций                           | 23 |
| Задачи для решения под контролем преподавателя   | 24 |
| Задание для индивидуальной и самостоятельной работы  | 25 |
| Практическая работа №6 Расчет состава сырья и вычисление в нем процентного содержания основного компонента и примеси (пустой породы) | 27 |
| Задачи для решения под контролем преподавателя   | 27 |
| Задание для индивидуальной и самостоятельной работы  | 28 |
| Практическая работа №7 Расчет состава шихты различных химических производств   | 30 |
| Задачи для решения под контролем преподавателя   | 30 |
| Задание для индивидуальной и самостоятельной работы  | 32 |
| Вопросы и задания для собеседования  | 33 |
| Библиографический список   | 34 |

## Введение

Данные методические указания предназначены для создания необходимой теоретической и практической базы для восприятия и усвоения современных знаний в области теоретических основ химической технологии и их практических приложений (спецкурсы), вычленения роли и места научных исследований в подготовке молодых специалистов. Полученные навыки должны студенту правильно обосновать выбор метода измерения или анализа, удовлетворяющий требованиям точности, быстроты и экономичности выполнения анализа с учетом возможной величины погрешности измерения, а также показать эффективность использования методов высшей математики в решении практических вопросов.

Используемые в методических указаниях подходы действенны для формирования действительного моста между фундаментальными и технологическими дисциплинами в плане преемственности, подходов и использования достижений отдельных дисциплин при решении практических задач.

В методических указаниях приводятся практические работы для закрепления теоретических знаний по дисциплине

## Практическая работа №1

### Способы выражения концентраций и состава газообразных, жидких и твердых веществ

Цель занятия: научиться проводить расчет концентраций для решения практических задач.

Исходными реагентами, а также конечными продуктами химико-технологических процессов являются вещества. На практике используют различные способы выражения количественного состава смесей – массовые доли, объемные доли, мольные доли, молярная концентрация, поэтому важно уметь переходить от одних единиц, характеризующих состав, к другим.

В практической деятельности чаще всего приходится иметь дело с жидкими растворами. Простейший раствор состоит из двух компонентов: растворителя и растворенного вещества. Важнейшей характеристикой любого раствора является его концентрация. Концентрация раствора показывает, в каком соотношении находятся растворенное вещество и растворитель. Это соотношение может быть показано разными способами (таблица 1).

Таблица 1 – Способы выражения концентраций в химической технологии

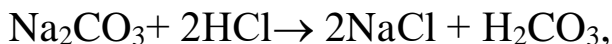
| Наименование                              |                | Описание  | формула                                |
|---|----------------|---|--|
| Массовая доля или процентная концентрация | $\omega$ , %   | показывает соотношение масс растворенного вещества и раствора                         | $\omega = \frac{m_B}{m_p} \cdot 100\%$ |
| Молярная концентрация                     | $C_M$ , моль/л | показывает, сколько молей растворенного вещества содержится в одном литре раствора.   | $C_M = \frac{m_B}{M \cdot V}$          |
| Моляльная концентрация                    | моль/кг        | показывает, сколько молей растворенного вещества приходится на 1000 г растворителя    | $C_M = \frac{m_B}{M \cdot m_p}$        |
| Мольная доля растворенного вещества       | -              | отношение количества вещества к общему количеству всех веществ, содержащихся в смеси  | $X_A = \frac{n_A}{\sum n_i}$           |
| Объемная доля                             |                | отношению объёма какого-то вещества в смеси к сумме объёмов компонентов до смешивания | $X_A = \frac{V_A}{\sum V_i}$           |

### Задачи для решения под контролем преподавателя

**Задача 1.** К 1 л 0,2 М раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  добавили 0,5 л 1М рас-

твора HCl. Какое количество и какого вещества осталось в избытке?

Решение. Определяем количество взятых веществ в моль: для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  это  $1 \cdot 0,2 = 0,2$  моль, для HCl  $0,5 \cdot 1 = 0,5$  моль. Карбонат натрия реагирует с соляной кислотой по уравнению



откуда видно, что соотношение между реагентами 1:2. Поэтому с 0,2 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  будут реагировать 0,4 моль HCl. Следовательно, соляная кислота в избытке, избыток составляет 0,1 моль.

**Задача 2.** В мерной колбе вместимостью 500,0 мл приготовлен раствор из навески 2,5 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Вычислить: молярную концентрацию раствора.

Решение. Находим молярную массу  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и молярную массу эквивалента. Они равны 105,99 г/моль и 52,99 г/моль соответственно. Молярную концентрацию находим как отношение массы навески к молярной массе вещества и объему раствора, т.е.

$$\frac{2,5}{105,99 \cdot 0,5} = 0,047 \text{ моль/л.}$$

### Задание для индивидуальной и самостоятельной работы

1. Концентрация  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,005 г/мл. Вычислить молярную и нормальную концентрацию раствора.

2. Молярная концентрация раствора HCl равна 0,0983 моль/л. Вычислить концентрацию в %, г/л, моль/кг.

3. Концентрация NaOH 0,00563 г/мл. Вычислить концентрацию в %, г/л, моль/кг.

4. Вычислить для 0,1143 М раствора HCl концентрацию в %, г/л, моль/кг.

5. Какую навеску щелочи, содержащей 8% индифферентных примесей, следует взять для приготовления: а) 1 л раствора с  $T(\text{NaOH}) = 0,005$  г/мл; б) 500 мл 0,15 М раствора.

6. Какой объем 10% раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  плотностью 1,105 г/мл нужно отобрать для приготовления 0,5 л раствора с 0,005 г/мл.

7. Какой объем соляной кислоты плотностью 1,19 г/мл (38,82%) следует взять для приготовления 1500 мл 0,2М раствора?

8. Какой объем воды надо добавить к 1,2 л 0,24 М HCl, чтобы получить 0,20 М раствор?

9. Из 40 г реактива NaOH, содержащего 3%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и 7% других индифферентных примесей, приготовили 1 л раствора. Вычис-

лить молярную концентрацию раствора щелочи, считая, что  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  титруется до  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

10. Сколько миллилитров 2,0 М раствора  $\text{HCl}$  нужно добавить к 1,1 л 0,188 М раствора  $\text{HCl}$ , чтобы доукрепить его до концентрации 0,20 М.

11. Какую навеску реактива  $\text{NaOH}$ , содержащего 93% основного вещества, нужно добавить к 10 л 0,1945 М раствора  $\text{NaOH}$ , чтобы получить 0,20 М раствор?

12. Сколько миллилитров раствора плотностью 1,22 г/мл и массовой долей  $\text{NaOH}$  20%, нужно добавить к 1,0 л 0,975 М раствора  $\text{NaOH}$ , чтобы приготовить 1,0 М раствор?

13. Какова нормальная концентрация раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , если на титрование 0,2156 г химически чистой  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  идет 22,35 мл этого раствора?

14. Рассчитать молярную концентрацию  $\text{HCl}$ , если на титрование 0,4668 г  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (буры) затрачено 18,38 мл этого раствора?

15. Для определения точной концентрации раствора  $\text{KOH}$  навеску 2,350 г  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  растворили в колбе вместимостью 200,0 мл. На титрование 20,00 мл этого раствора затрачено 19,36 мл раствора  $\text{KOH}$ . Вычислить молярную концентрацию раствора  $\text{KOH}$ .

16. При титровании 0,3451 мл  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  израсходовано 21,36 мл раствора  $\text{NaOH}$  0,01М. Рассчитать молярность.

17. Для определения точной концентрации растворов  $\text{NaOH}$  и  $\text{HCl}$  в качестве установочного вещества использовали химически чистый карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Из навески 1,368 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  приготовили раствор в мерной колбе вместимостью 100 мл. При титровании 20,00 мл этого раствора среднее значение объема кислоты составило 22,30 мл.

При титровании раствора соляной кислоты раствором  $\text{NaOH}$  соотношение их объемов составило 1,054. Вычислить молярную концентрацию растворов  $\text{NaOH}$  и  $\text{HCl}$ .

18. Для установления точной концентрации пипеткой отобрали 25,00 мл раствора  $\text{NaOH}$ , на титрование которого затратили 23,61 мл раствора соляной кислоты с титром 0,004023 г/мл. Вычислить: концентрацию  $\text{NaOH}$ .

19. Для определения точной концентрации рабочего раствора  $\text{HClO}_4$  в ледяной уксусной кислоте приготовили стандартный раствор безводного карбоната натрия. При этом его навеску 0,2126 г



растворили в ледяной уксусной кислоте и разбавили до 50,00 мл. На титрование 5,00 мл стандартного раствора затратили 4,65 мл  $\text{HClO}_4$ . Вычислить молярную концентрацию рабочего раствора.

20. Сколько воды в г следует выпаривать из 200 г раствора серной кислоты с массовой долей 0,45, чтобы получить раствор серной кислоты с массовой долей ее 0,56; 0,68; 0,96.

21. Вычислить массу навески  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , которую необходимо взять для приготовления 1,0 л 10% (по массе  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) раствора, если плотность такого раствора равна  $1,09 \text{ г/см}^3$ .

22. Сколько граммов  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  надо для приготовления 0,2 л 0,05М раствора?

23. Вычислить массовую долю серной кислоты в ее 5,0 М растворе плотностью  $1,29 \text{ г/мл}$ .

24. Рассчитать молярную концентрацию раствора фосфорной кислоты плотностью  $1,335 \text{ г/мл}$ , содержащего по массе 36,25%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

25. Сколько граммов щелочи, содержащей по массе 92%  $\text{NaOH}$  и неактивные примеси, нужно взять для приготовления: а) 2,0 л 10% раствора; б) 5,0 л 0,20 М раствора? Плотность раствора найти по таблице.

26. Выполнить задания по вариантам ( $n$  – номер по списку; 1-й это 01) (таблица 2)

Таблица 2 – Задания по вариантам

| № | Описание  | Задание   |
|---|---|---|
| 1 | 2   | 3   |
| 1 | В мерной колбе вместимостью 500,0 мл приготовлен раствор из навески $n \text{ г}$ $\text{K}_2\text{CO}_3$ . | Вычислить: а) молярную концентрацию раствора; б) массовую концентрацию. Какую навеску щелочи, содержащей $n\%$ индифферентных примесей, следует взять для приготовления 0,5 л раствора с $0,00n \text{ г/мл}$ . |
| 2 | В мерной колбе вместимостью 250,0 мл приготовлен раствор из навески $n \text{ г}$ $\text{CaCl}_2$ .         | Вычислить: а) молярную концентрацию раствора; б) моляльность раствора.  |
| 3 | $\text{H}_3\text{PO}_4 = 0,00n \text{ г/мл}$  | Вычислить молярную и нормальную концентрацию раствора.  |
| 4 | Молярная концентрация раствора $\text{HCl}$ равна $0,0n \text{ моль/л}$ .                                   | Какой объем $n\%$ раствора плотностью $1,1 \text{ г/мл}$ нужно отобрать для приготовления 0,05 л раствора $0,0055 \text{ г/мл}$ .   |

Продолжение табл. 2

| 1  | 2  | 3  |
|----|--|--|
| 5  | Для определения точной концентрации раствора NaOH навеску $n$ г $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ растворили в колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 20,00 мл этого раствора затрачено $(10+n)$ мл раствора NaOH. | а) молярную концентрацию раствора NaOH; б) его титр; в) его титр по соляной кислоте.                   |
| 6  | на титрование $0, n$ г химически чистой $Na_2CO_3$ идет 21,5 мл раствора $H_3PO_4$   | молярная концентрация раствора $H_3PO_4$ ?   |
| 7  | на титрование $0, n$ г $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ (буры) затрачено $(10+n)$ мл раствора $HNO_3$   | молярная концентрация $HNO_3$ ?  |
| 8  | $NaCl = 0,0n$ г/мл.  | Какой объем $n\%$ раствора NaCl плотностью $1, n$ г/мл нужно отобрать для приготовления 0,5 л раствора |
| 9  | 0,2 л $0, n$ М раствора KOH $0,00n$ г/мл   | Какую навеску щелочи, содержащей $n\%$ индифферентных примесей, следует взять для приготовления?       |
| 10 | Для установления точной концентрации пипеткой отобрали 20,00 мл раствора NaOH, на титрование которого затратили $(10+n)$ мл раствора соляной кислоты $0,00n$ г/мл  | Концентрация NaOH?   |

## Практическая работа №2

### Приготовление растворов разбавлением

Цель занятия: научиться проводить расчет для решения практических задач.

Очень часто в лабораторной и технологической практике приходится встречаться со случаями приготовления растворов с определенной массовой долей растворенного вещества, смешением двух растворов разной концентрации или разбавлением крепкого раствора водой. В некоторых случаях можно провести достаточно сложный арифметический расчет. Однако это малопродуктивно. Для этого лучше применить правило смешения диагональную модель «конверта Пирсона», или, что то же самое, правило креста). (рисунок 1).

Допустим, нужно приготовить раствор определенной концентрации, имея в распоряжении два раствора с более высокой и менее

высокой концентрацией, чем нужно нам.

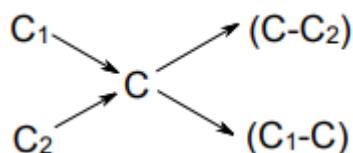


Рисунок 1– Схема креста для расчёта концентрации

Пусть массовая доля растворенного вещества в первом растворе –  $\omega_1$ , во втором –  $\omega_2$ , а в их смеси  $\omega_3$ .

Тогда общая масса растворенного вещества в смеси будет складываться из масс растворенного вещества в исходных растворах:

$$m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2 = \omega_3(m_1 + m_2).$$

Отсюда

$$m_1(\omega_1 - \omega_3) = m_2(\omega_3 - \omega_2),$$

$$m_1/m_2 = (\omega_3 - \omega_2)/(\omega_1 - \omega_3).$$

Видно, что отношение массы первого раствора к массе второго раствора есть отношение разности массовых долей растворенного вещества в смеси и во втором растворе к разности соответствующих величин в первом растворе и в смеси. При расчетах записывают одну над другой массовые доли растворенного вещества в исходных растворах, справа между ними – его массовую долю в растворе, который нужно приготовить, и вычитают по диагонали из большего меньшее значение. Разности их вычитаний показывают массовые доли для первого и второго растворов, необходимые для приготовления нужного раствора.

Схема (рис.1) дает наглядное представление об операциях для проведения расчётов: в точке С пересечения прямых записывают содержание вещества в смешанном растворе С (%). Содержание веществ в исходных смешиваемых растворах  $C_1$  и  $C_2$  (%) указывают с левой стороны креста таким образом, чтобы соблюдалось неравенство  $C_1 > C_2$ .

Разность  $C_1 - C$  соответствует количеству массовых частей  $C_2\%$ -ного раствора, необходимого для смешения с  $C - C_2$  частями  $C_1\%$ -ного разбавляемого раствора. При разбавлении раствора водой  $C_2 = 0$ .

### Задачи для решения под контролем преподавателя

**Задача 1.** Определите концентрацию раствора, полученного при слиянии 150 г 30%-го и 250 г 10%-го растворов какой-либо соли.

Дано:  $m_1 = 150$  г,  $m_2 = 250$  г,  $\omega_1 = 30\%$ ,  $\omega_2 = 10\%$ . Найти:  $\omega_3$ .  
Решение 1-й способ (метод пропорций).

Общая масса раствора:  $m_3 = m_1 + m_2 = 150 + 250 = 400$  г.

Массу вещества в первом растворе находим методом пропорций, исходя из определения: процентная концентрация раствора показывает, сколько граммов растворенного вещества находится в 100 г раствора:

В 100 г 30%-го раствора – 30 г вещества,

150 г 30%-го раствора –  $x$  г вещества

$$x = 150 \cdot 30 / 100 = 45 \text{ г.}$$

Для второго раствора составляем аналогичную пропорцию:

100 г 10%-го раствора – 10 г вещества,

250 г 10%-го раствора –  $y$  г в вещества,

$$y = 250 \cdot 10 / 100 = 25 \text{ г.}$$

Следовательно, 400 г нового раствора содержит  $45 + 25 = 70$  г растворенного вещества.

Теперь можно определить концентрацию нового раствора:

400 г раствора – 70 г вещества,

100 г раствора –  $z$  г вещества,

$$z = 100 \cdot 70 / 400 = 17,5 \text{ г, или } 17,5\%.$$

2-й способ (алгебраический).

$$m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2 = \omega_3(m_1 + m_2).$$

Отсюда

$$\omega_3 = (m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2) / (m_1 + m_2).$$

В результате находим:

$$\omega_3 = (150 \cdot 30 + 250 \cdot 10) / (150 + 250) = 17,5\%.$$

3-й способ (правило креста)

Составим схему (рис. 2)

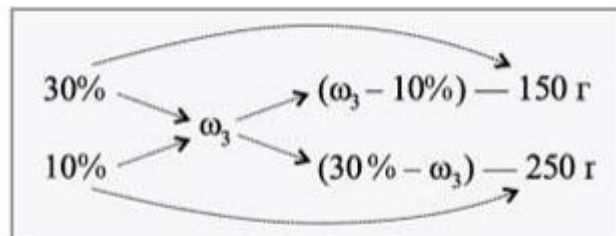


Рисунок 2 – Схема для расчёта концентрации

$$(\omega_3 - 10) / (30 - \omega_3) = 150 / 250.$$

$$\text{Тогда } (30 - \omega_3) \cdot 150 = (\omega_3 - 10) \cdot 250,$$

$$4500 - 150 \omega_3 = 250 \omega_3 - 2500,$$

$$4500 - 2500 = 250 \omega_3 - 150 \omega_3,$$

$$7000 = 400 \omega_3,$$

$$\omega_3 = 7000/400 = 17,5\%.$$

При слиянии взятых растворов получится новый раствор с концентрацией  $\omega_3 = 17,5\%$

**Задача 2.** Определите, сколько нужно взять 10%-го раствора соли и 30%-го раствора этой же соли для приготовления 500 г 20%-го раствора.

Дано:  $\omega_1 = 10\%$ ,  $\omega_2 = 30\%$ ,  $\omega_3 = 20\%$ ,  $m_3 = 500$  г. Найти:  $m_1$ ,  $m_2$ .

Решение. Используем правило креста (рис.3)

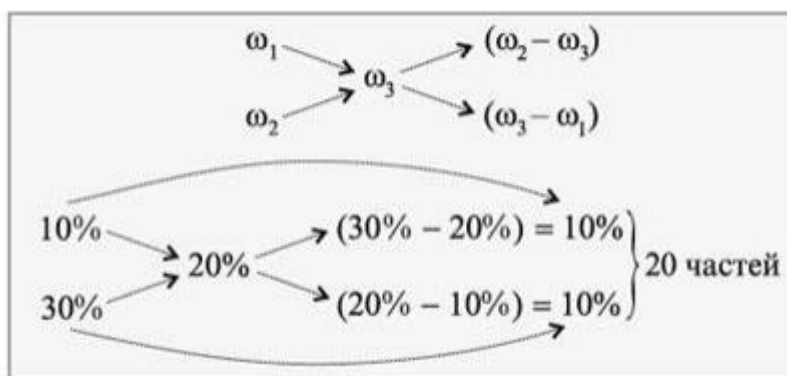


Рисунок 3 – Схема для расчёта концентрации

Для приготовления 500 г 20%-го раствора соли нужно взять по 10 частей растворов исходных концентраций.

Проверим правильность нашего решения, учитывая, что 1 часть равна  $500/(10 + 10) = 25$  г. 2

50 г 10%-го раствора –  $x$  г соли,  
 100 г 10%-го раствора – 10 г соли,  
 $x = 250 \cdot 10/100 = 25$  г.

250 г 30%-го раствора –  $y$  г соли,  
 100 г 30%-го раствора – 30 г соли,  
 $y = 250 \cdot 30/100 = 75$  г.

$m(\text{раствора}) = 250 + 250 = 500$  г.

$m(\text{соли}) = 25 + 75 = 100$  г.

Отсюда находим  $\omega_3$ :

500г раствора– 100 г соли,

100 г раствора – 3 г соли,

$\omega_3 = 100 \cdot 100/500 = 20$  г, или 20%

Для приготовления 500 г 20%-го раствора нужно взять исходные растворы по 250 г ( $m_1 = 250$  г,  $m_2 = 250$  г).

### Задание для индивидуальной и самостоятельной работы

1. До какого объема следует разбавить 700 мл 0,25 н. раствора, чтобы получить 0,20 н. раствор? Какой объем воды следует при этом добавить?

2. Сколько миллилитров раствора ( $\rho=1,30$  г/мл) с массовой долей серной кислоты 39,2% следует прибавить к 1200 мл 0,16 н. раствора, чтобы получить 0,20 н. раствор?

3. Сколько миллилитров 95,6% (масс.) раствора серной кислоты ( $\rho_1=1,84$  г/мл) следует прибавить к 1,0 л 40% (масс.) раствора ( $\rho_2=1,307$  г/мл) для получения 50% раствора кислоты ( $\rho_3=1,40$  г/мл)?

4. Сколько граммов раствора серной кислоты с массовой долей 90 % нужно добавить к 500 г раствора кислоты с массовой долей 10 %, чтобы получить раствор с массовой долей 70 %?

5. Сколько граммов технического едкого натра, с массовой долей 75 % в расчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  требуется для приготовления 600 г раствора  $\text{NaOH}$  с массовой долей 15 % ?

6. Сколько граммов воды нужно взять для приготовления раствора нитрата уранила с массовой долей 10 % (в расчете на безводную соль) из 35 г его 6-водного кристаллогидрата?

7. Сколько граммов тетрахлорида тория требуется для приготовления 1000 г раствора с массовой долей 20 %, если массовая доля влаги в соли составляет 15 %?

8. Смешано 60 г воды с 20 см<sup>3</sup> раствора фосфорной кислоты с массовой долей 40 % ( $\rho=1,254$  г/см<sup>3</sup>). Чему равна массовая доля кислоты в процентах в полученном растворе?

9. Какие объемы растворов азотной кислоты с массовыми долями 5,0 % и 50 % следует взять в см<sup>3</sup> для приготовления 1500 см<sup>3</sup> раствора с массовой долей 10 %?

10. В каких массовых отношениях нужно смешать растворы сульфата тория с массовыми долями 38 % и 10 %, чтобы получить раствор с массовой долей 15 %?

11. В каком объемном соотношении следует смешивать растворы едкого кали с массовыми долями 5 % и 30 % для приготовления 600 см<sup>3</sup> раствора с массовой долей 10 %?

12. В каком массовом соотношении следует смешивать растворы азотнокислого плутонила с массовыми долями 5 % и 25 %, чтобы получить 4 кг раствора с массовой долей 20 %?

13. Сколько г  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  следует взять для приготовления

300 г раствора с массовой долей 10 % безводного  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ?

14. Сколько граммов десятиводного тетрабората натрия и сколько граммов воды следует взять для приготовления 250 г раствора с массовой долей 3 % безводного тетрабората натрия?

15. Сколько граммов раствора едкого кали с массовой долей 60 % и сколько граммов воды нужно взять для приготовления 500 г раствора КОН с массовой долей 10 %?

16. Сколько граммов серной кислоты содержится в 20 см<sup>3</sup> раствора с массовой долей 50 %?

17. В каком массовом соотношении необходимо смешать раствор едкого натра с массовой долей 50 % с водой, чтобы получить раствор с массовой долей 30 %?

18. Сколько граммов раствора соли с массовой долей 5 % нужно прибавить к 500 г раствора этой же соли с массовой долей 40 %, чтобы получить раствор с массовой долей 20 %?

19. Сколько граммов воды и раствора аммиака с массовой долей 25 % требуется для приготовления 5 кг раствора с массовой долей 10 %?

20. Какие массы растворов сульфата уранила с массовыми долями 96 % и 20 % нужно взять, чтобы при смешении получить 1000 г раствора с массовой долей 40 %

21. Сколько граммов  $\text{U}(\text{SO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  необходимо для приготовления 50 г раствора сульфата урана с массовой долей 8 % безводного сульфата меди?

22. Сколько воды нужно прибавить к 100 г раствора азотно-кислого плутония (IV) с массовой долей 25 %, чтобы получить раствор с массовой долей 5 %?

23. Какие количества растворов серной кислоты с массовыми долями 90 % и 10 % нужно взять для приготовления 1600 г раствора с массовой долей 40 %?

### **Практическая работа №3**

#### **Стехиометрический баланс**

Цель занятия: научиться проводить расчет для решения практических задач.

Расчеты основаны на законах сохранения массы, постоянства состава и кратных отношений, а также на законе действия масс, если реакция обратима и известно значение константы равновесия. В

общем случае реакционная смесь содержит исходные вещества, вводимые в аппарат и принимающие участие в химическом превращении, и продукты, образующиеся в результате химического превращения. В реакционной смеси могут находиться вещества, оказывающие влияние на ход процесса, т. е. катализаторы, ингибиторы и инерты, не принимающие участие в реакции.

Наличие этих компонентов в реакционной смеси необходимо учитывать при расчетах.

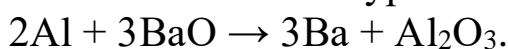
Обычно применяют два способа выполнения стехиометрических расчетов: либо составляется стехиометрический баланс, либо используются уравнения, дающие возможность быстро провести некоторые стехиометрические вычисления (например, определить степень превращения).

Удобнее всего составлять баланс, определив число молей реагентов, необходимое, например, для получения 1 моль целевого продукта, или отнеся все расчеты к 1 моль основного исходного вещества. После этого по числу молей находят количество исходных веществ и продуктов (в кг, т, м<sup>3</sup> и т.д.).

### Задачи для решения под контролем преподавателя

**Задача 1.** В вакууме при высокой температуре металлическим алюминием восстанавливают оксид бария до металлического бария. Вычислить, сколько граммов металлического алюминия потребуется для восстановления 0,80 г оксида бария. Написать уравнение реакции и вычислить массу образовавшегося оксида алюминия.

Решение. Запишем уравнение процесса



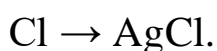
Молярная масса оксида бария  $M(\text{BaO}) = 153$ . Взяли  $0,80/153 = 0,0052$  моль оксида. Для восстановления такого количества потре-

буется  $\frac{0,0052}{3} \cdot 2 = 0,0035$  моль Al или 0,094 г.

Массу оксида алюминия ( $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 101,96$  г/моль) находим как  $\frac{0,0052}{3} \cdot 101,96 = 0,18$  г.

**Задача 2.** Смесь содержит по массе около 50% Cl. Какую навеску этой смеси надо взять, чтобы получить 0,50 г AgCl?

Решение. Запишем уравнение процесса





По уравнению реакции хлор и хлорид серебра берутся в одинаковых мольных соотношениях, поэтому  $n_{Cl} = n_{AgCl}$ , следовательно,

можно записать  $\frac{m_{Cl}}{35,5} = \frac{m_{AgCl}}{143,5}$ . Так как  $m_{AgCl} = 0,5$  г, то

$$m_{Cl} = \frac{35,5 \cdot 0,50}{143,5} = 0,124 \text{ г.}$$

С учетом того, что навеска состоит из хлора на 50%, масса навески составит  $0,124 \text{ г} \cdot 2 = 0,248 \text{ г}$ .

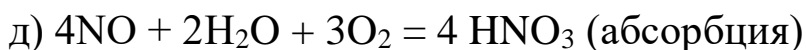
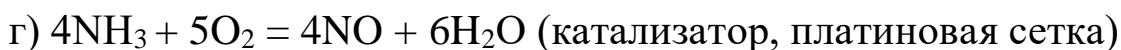
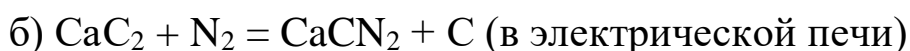
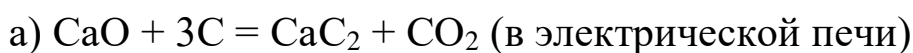
**Задача 3.** Рассчитать стехиометрические количества исходных веществ, теоретически необходимые для проведения кругового процесса получения нитрата аммония с использованием нескольких вспомогательных исходных веществ.

Основные исходные вещества: вода, воздух.

Вспомогательные исходные вещества: оксид кальция, кокс.

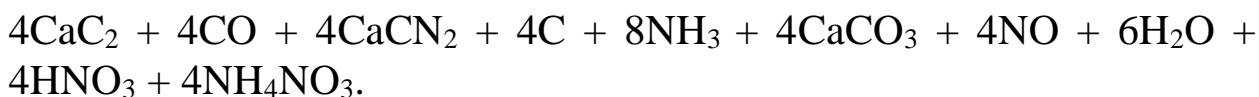
Процесс идет без регенерации оксида кальция и использования углерода.

Стадии процесса:

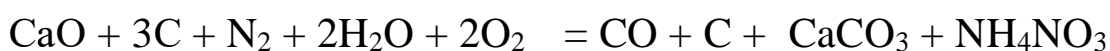


Весь вариант можно представить после суммирования отдельных стадий (а)- (е) в виде общего уравнения.

Суммируем уравнение сторонами



Сократив одинаковые слагаемые, упорядочив полученное уравнение и разделив на 4, получаем:



$$1 \cdot 56 \quad 3 \cdot 12 \quad 1 \cdot 28 \quad 2 \cdot 18 \quad 2 \cdot 32 \quad 1 \cdot 28 \quad 1 \cdot 12 \quad 1 \cdot 100 \quad 1 \cdot 80$$

(цифры под формулами веществ обозначены произведениями стехиометрических коэффициентов на относительную молекулярную

массу).

Внесем полученные значения в таблицу 3. В последнем столбце таблицы баланса приведены теоретические минимально возможные расходы исходных веществ и количества полученных продуктов, рассчитанные по данным предыдущего столбца.

Таблица 3 -Стехиометрический баланс

| Израсходовано                            | Число молей | кг/кмоль $\text{NH}_4\text{NO}_3$ | кг/ 1000 кг $\text{NH}_4\text{NO}_3$ |
|--|-------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Основные исходные вещества               |             |                                   |                                      |
| $\text{O}_2$                             | 2           | 64                                | 800                                  |
| $\text{N}_2$                             | 1           | 28                                | 350                                  |
| $\text{H}_2\text{O}$                     | 2           | 36                                | 450                                  |
| Вспомогательные исходные вещества        |             |                                   |                                      |
| $\text{CaO}$                             | 1           | 56                                | 700                                  |
| $\text{C}$                               | 3           | 36                                | 450                                  |
| Получено:                                |             |                                   |                                      |
| Целевой продукт $\text{NH}_4\text{NO}_3$ | 1           | 80                                | 1000                                 |
| Побочный продукт $\text{CO}$             | 1           | 28                                | 350                                  |
| Отходы:                                  |             |                                   |                                      |
| $\text{CaCO}_3$                          | 1           | 100                               | 1250                                 |
| $\text{C}$                               | 1           | 12                                | 150                                  |

### Задание для индивидуальной и самостоятельной работы

1. Какую навеску карналлита ( $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) надо взять для анализа, чтобы получить 0,12 г прокаленного осадка  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ? Известно, что карналлит содержит по массе около 20% прочих примесей?

2. Какую навеску смеси, содержащей по массе 40%  $\text{MgSO}_4$  и 60%  $\text{CoSO}_4$ , надо взять для получения 0,25 г прокаленного осадка  $\text{BaSO}_4$ ?

3. Для контрольного анализа сплава Дебарда, содержащего по массе 50%  $\text{Cu}$ , 45%  $\text{Al}$ , 5%  $\text{Zn}$ , взята навеска 0,50 г. Вычислить, сколько миллилитров раствора с массовой долей аммиака 3,0% (а) и раствора с массовой долей гидрофосфата натрия 15 (б)? потребуется для осаждения цинка в виде  $\text{ZnNH}_4\text{PO}_4$ . Плотность раствора принять равной 1,0 г/мл.

4. Из азотнокислого раствора выделили свинец в виде хормата свинца. Масса высушенного осадка составила 0,2136 г. Вычислить массу свинца в исходном растворе. Написать реакцию осаждения.

5. Из раствора сульфата железа (II) сульфат-ионы осадил в

виде  $\text{BaSO}_4$ . Осадок отфильтровали, прокалили и взвесили. Масса осадка составила 0,2836 г.

Ионы  $\text{Fe(II)}$  окислили до  $\text{Fe(III)}$  азотной кислотой и осадили гидроксидом аммония. Осадок  $\text{Fe(OH)}_3$  высушили, прокалили и взвесили. Масса полученного осадка  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  равна 0,0970 г.

Вычислить массу: а)  $\text{SO}_4^{2-}$ ; б)  $\text{FeSO}_4$ ; в)  $\text{Fe}$  в анализируемом растворе

6. Для определения массовой доли нитробензола в продукте к его навеске 0,2448 г добавили 0,6214 г металлического химически чистого олова, а также избыток хлористоводородной кислоты и метанола. При нагревании смеси в колбе с обратным холодильником прошла реакция:

7. Смесь химически чистых хлоридов калия и натрия осадили в виде  $\text{AgCl}$ . Масса осадка равна 0,2638 г. После удаления избытка ионов серебра из раствора выделен осадок  $\text{KClO}_4$ , масса которого составила 0,0853 г. Вычислить: а) массу исходной навески смеси; б) массу хлорида калия в навеске; в) массу хлорида натрия в навеске; г) массовую долю каждой соли в смеси.

8. Свинец может быть определен в виде оксида ( $\text{PbO}$ ), диоксида ( $\text{PbO}_2$ ), вольфрамата ( $\text{PbWO}_4$ ). Вычислить массу каждого из указанных гравиметрических форм осадка, которые могут быть получены при обработке 0,25 г металлического свинца

9. Из 25 мл раствора сульфата меди получен осадок  $\text{CuSCN}$  массой 0,2144 г. Вычислить массовую концентрацию меди в растворе.

10. Из навески 0,4267 г сплава получено 0,2304 г  $\text{SnO}_2$ , 0,0204 г  $\text{PbO}_2$  и 0,3245 г  $\text{PbSO}_4$ . Вычислить массовую долю олова и свинца в навеске сплава.

11. Из навески соли марганца получили 0,3562 г прокаленного осадка  $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ . Рассчитать массу: а)  $\text{Mn}$ ; б)  $\text{MnO}$ ; в)  $\text{MnO}_2$ ; г)  $\text{MnS}$ ; д)  $\text{MnCO}_3$ , которые можно получить из такой навески.

12. Из навески чугунных стружек массой 1,5462 г получены гравиметрические формы осадков: 0,1436 г  $\text{SiO}_2$  и 2,114 г  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Вычислить массовую долю кремния и железа в чугуне.

13. Для анализа сплава на содержание серебра и никеля взяли две навески. Путем обработки одной из них массой 0,3285 г получено 0,4236 г  $\text{AgCl}$ , а из другой навески 1,0540 г выделено 0,1536 г  $\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2\text{N}_2)_2$  (диметилглиоксимат никеля). Вычислить массовую долю серебра и никеля в растворе.

14. Для определения влажности взяли навеску 0,5436 г образца. После высушивания масса составила 0,5246 г. Вычислить массовую долю воды в образце (влажность).

15. Навеску глины массой 1,4638 г испытали на содержание влаги и потери при прокаливании. После высушивания при  $105^{\circ}$  масса составила 1,3424 г, а после прокаливании - 1,2971 г. Вычислить влажность глины и массовую долю компонентов, определяющих потери при прокаливании.

16. Вычислить массовую долю гигроскопической влаги в поваренной соли по следующим данным: масса пустого тигля – 5,1234 г; масса тигля с навеской соли до высушивания – 5,4826 г; масса тигля с навеской соли после высушивания – 5,4754 г

17. Вычислить массу каждого из элементов в навеске 0,3648 г химически чистого  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

18. Из раствора, содержащего марганец, выделили соответствующей обработкой  $\text{MnNH}_4\text{PO}_4$  и после прокаливании получили 0,1928 г  $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ . Вычислить массы: а) марганца в растворе; б) фосфора в осадке.

19. Медная руда содержит по массе 3,93% меди и 12,44% влаги. Вычислить массовую долю меди в сухой пробе.

20. Воздушно-сухая соль содержит 7,50% влаги. Вычислить массу начальной навески, если после высушивания она составила 0,3736 г.

21. Навеску 1,0824 г глины высушили при  $105-110^{\circ}\text{C}$  до постоянной массы 1,0526 г. При анализе другой навески 0,2425 г той же глины получили 0,1034 г  $\text{SiO}_2$ , 0,0462 г  $\text{CaO}$  и 0,0124 г  $\text{MgO}$ . Вычислить массовые доли оксидов в сухой глине.

22. Заводом принят уголь на следующих условиях (по массовой доле, %):

горючих летучих продуктов (г.л.п.) – 23;

зола (не более) – 13; влаги (не выше) – б.

Анализ угля дал следующие результаты:

г.л.п. – 23,36;

зола – 12,65;

кокс – 59,64%;

влага – 4,35 (всего 100%).

Определить: а) будет ли соответствовать условиям приемки сухой уголь; б) уголь с максимально допустимой влажностью.

## Практическая работа №4

### Быстрые способы стехиометрических расчетов

Цель занятия: научиться проводить расчет для решения практических задач.

Стехиометрический расчет дает возможность оценить приемлемость химической концепции. Получение точных результатов при этом необязательно, но очень важно быстро установить, можно ли использовать данную химическую концепцию. При проведении таких ориентировочных расчетов часто применяют диаграммы, номограммы, простые правила вычислений.

#### 1 Применение номограмм

Прежде чем приступить к стехиометрическим расчетам, часто нужно знать плотности газов при определенных температурах и давлениях. Значение плотности можно найти по номограмме рис. 4. Эту диаграмму используют для области давлений 1 - 100 атм. и диапазона температур 0 – 400° С.

#### 2 Применение диаграмм

Быстро составить стехиометрический баланс процесса сгорания можно с помощью диаграмм. Диаграмма рис. 5 дает возможность непосредственно отсчитать концентрацию  $\text{CO}_2$  в сухих продуктах сгорания, определить количество воздуха (кг), необходимое для сжигания 1 кг горючего вещества (углеводорода  $\text{O}$ , и число кмоль влажных продуктов сгорания, приходящихся на 1 кг углеводорода. При вычислениях обязательно нужно знать содержание  $\text{H}_2$  (%) в сжигаемом углеводороде, а также избыток вводимого в процесс воздуха. Диаграмму рис. 5 можно применить и для расчета более сложного процесса горения (например, угля). Предположив, что  $\text{C}$ ,  $\text{H}$  и  $\text{S}$  сгорают полностью, т.е. зола не содержит горючих частей, и что  $\text{O}_2$  в горючем связан с  $\text{H}_2$  в молекулу воды, рассчитаем количество  $\text{CO}_2 + \text{SO}_2$  (3 моль  $\text{C} = 1$  моль  $\text{S}$ ), а не  $\text{CO}_2$ .

#### Задачи для решения под контролем преподавателя

**Задача 1.** Найти плотность  $\text{H}_2$  (относительная молекулярная масса  $M = 2$ ) при  $T = 270$  С и  $P = 5$  атм.

Решение. Прямая линия, соединяющая точки  $M = 2$  и  $T = 27$ , пересечет вспомогательную ось  $O$  в точке  $O_1$ . Проведя теперь прямую линию от точки  $O_1$  до точки  $P = 5$  атм., получим на оси  $\rho$  точку, соответствующую  $\rho = 0.41$  г/л.

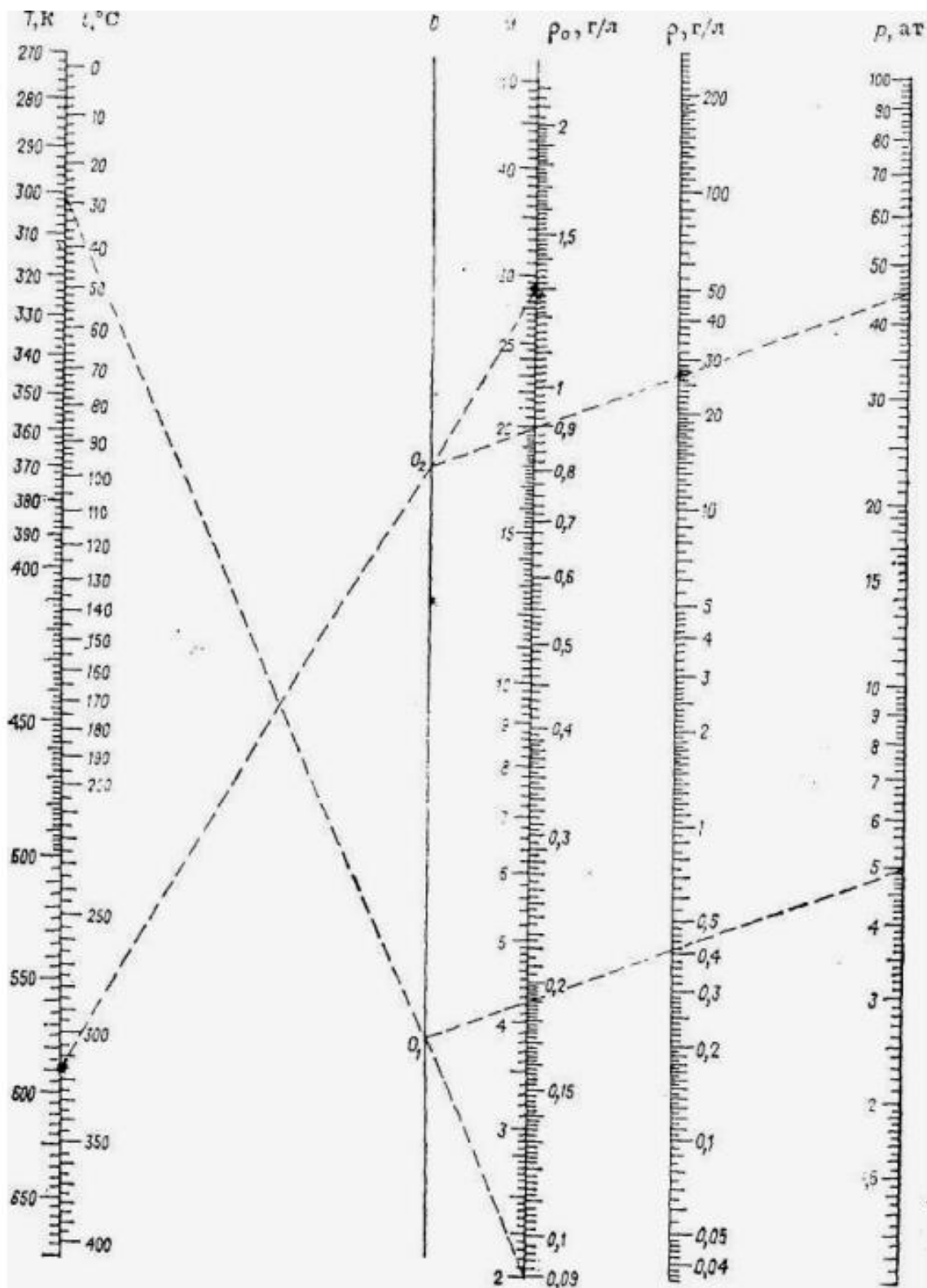


Рисунок 4 - Номограмма для определения плотности идеальных газов

**Задача 2.** Сжигаем смесь, содержащую 50 объем. %  $C_3H_8$  (относительная молекулярная масса  $M = 44$ ) и 50 объем. %  $C_4H_{10}$  (относительная молекулярная масса  $M=58$ ).

Содержание  $H_2$  в смеси  $(8 + 10)/(44 + 58) \cdot 100 = 17.7 \%$

Сжигание проводится при 20%-ном избытке воздуха ( $\lambda = 1.2$ ).  
По диаграмме находим:

- 1) сухие продукты сгорания содержат 11.6%  $\text{CO}_2$ ;
- 2) для сжигания 1 кг горючего необходимо подвести 18.5 кг воздуха;
- 3) из 1 кг горючего получается 0.69 к/моль влажных продуктов сгорания.

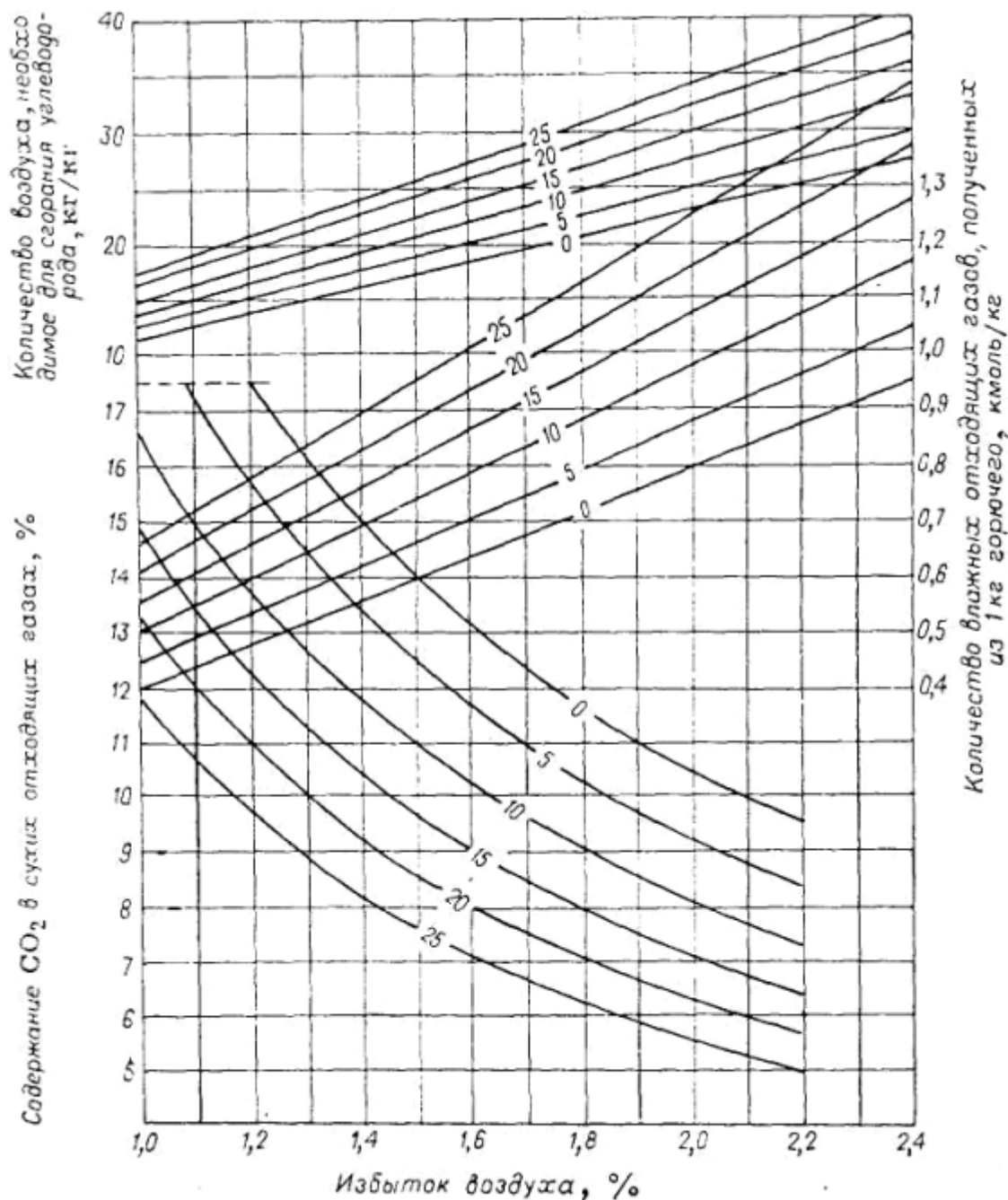
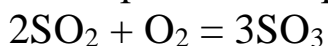


Рисунок 5 - Диаграмма, используемая для составления баланса процесса сгорания углеводородов. Цифры около линий — содержание  $\text{H}_\Gamma$  в углеводороде, % (масс).

### Задание для индивидуальной и самостоятельной работы

1. Сожжено  $100 \text{ м}^3$  горючей газовой смеси, содержащей 50% (объем) пропана, 50% (объем) бутана. Избыток воздуха по отношению к количеству, теоретически необходимому для сгорания составляет 20%. Рассчитать приблизительное количество воздуха (в  $\text{м}^3$ ), необходимое для проведения реакции, а также состав и количество влажных продуктов сгорания.

2. В установке для производства серной кислоты контактным способом происходит реакция окисления



Газ, подводимый к контактному реактору окисления  $\text{SO}_2$ , состоит из 10%  $\text{O}_2$ , 11%  $\text{O}_2$ , 79%  $\text{N}_2$  (объем). Газ, покидающий реактор, содержит 6,8%  $\text{O}_2$  (объем). Рассчитать степень превращения  $\text{SO}_2$  и концентрации  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$  в газах после реакции.

3. Определить плотность воздуха при  $T = 315^\circ \text{C}$  и  $P = 45 \text{ атм}$ . (известно, что  $\rho$  воздуха при  $00^\circ \text{C}$  и  $P = 1 \text{ атм}$   $\rho_0 = 1.293 \text{ г/л}$ ).

4. Сжигаем уголь следующего состава:  $\text{C} = 83.2\%$ ,  $\text{H} = 4.3\%$ ,  $\text{O} = 2.1\%$ ,  $\text{N} = 1.3$ ,  $\text{S} = 0.8$ , зола = 5.4%, влажность 2.9%. Расчет проводим для 100 кг угля, 2.1 кг кислорода связывают  $2.1 \cdot 2/16 = 0.26 \text{ кг}$  водорода, образуя 2.36 кг воды. Избыток воздуха равен 20% ( $\lambda = 1.2$ ).

Определить:

- 1) сухие продукты сгорания (содержание  $\text{CO}_2 + \text{SO}_2$ );
- 2) количество воздуха, необходимое для сжигания;
- 3) количество влажных продуктов сгорания.

5. Смешано 4 части (масс) 95% серной кислоты (1) с 6 частями (масс) 62% серной кислоты (2). Рассчитать концентрацию смеси, предположив, что изменения объема после смешения не происходит.

### Практическая работа №5

Элементарные балансовые расчеты, основанные на стехиометрических уравнениях реакций

Цель занятия: научиться проводить расчет для решения практических задач.

Материальный баланс основан на стехиометрических законах: сохранения массы вещества, эквивалентов, кратных и простых объемных отношений, Авогадро. Материальный баланс составляют по уравнению целевой реакции, учитывая протекающие побочные ре-



акции. Теоретический материальный баланс рассчитывается на основе стехиометрического уравнения целевой реакции, и для его составления достаточно знать молярные массы реагирующих веществ. Практический материальный баланс учитывает состав исходного сырья и готовой продукции, степень конверсии, селективность процесса, молярное (объемное, массовое) отношение реагентов, потери сырья и готового продукта на всех стадиях производства. Сравнение данных теоретического и практического материальных балансов (теоретических и практических расходных коэффициентов) позволяет выявить возможные пути усовершенствования данного процесса, его интенсификации

### **Задачи для решения под контролем преподавателя**

1. Рассчитать материальный баланс непрерывного процесса получения фтороводородной (плавиковой) кислоты из плавикового шпата ( $\text{CaF}_2$ ). На первой стадии процесса  $\text{CaF}_2$  взаимодействует с серной кислотой (моногидрат). На второй стадии фтористый водород поглощается водой с образованием плавиковой кислоты. Производительность установки по товарной плавиковой кислоте – 35000 т/год 50%-ного водного раствора. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии плавикового шпата составляет 95 %, серной кислоты – 98 %. Содержание инертных примесей в плавиковом шпате составляет 25 % мас. Материальный баланс процесса представить в табулированном виде. Сделать выводы по результатам расчета.

2. Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения ацетилена взаимодействием карбида кальция с водой. В процессе образуется  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Производительность установки по ацетилену 50000.0 кг/час. Содержание инертных примесей в техническом карбиде кальция составляет 18 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии карбида кальция составляет 75 %.

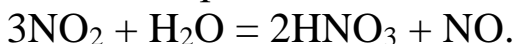
3. При получении азотной кислоты окислением аммиака первой стадией процесса является окисление аммиака до оксида азота NO и воды. Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения оксида азота NO. Производительность установки по NO составляет 45000.0 кг/час. Содержание инертных примесей в техническом аммиаке составляет 5 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень кон-

версии аммиака составляет 90 %.

### **Задание для индивидуальной и самостоятельной работы**

1. При получении азотной кислоты окислением аммиака чистым кислородом ( $O_2$ ) второй стадией процесса является окисление оксида азота  $NO$  до диоксида азота  $NO_2$ . Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения диоксида азота  $NO_2$ . Производительность установки по  $NO_2$  составляет 30000.0 кг/час. Содержание инертных примесей в техническом оксиде азота  $NO$  составляет 6 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии оксида азота  $NO$  составляет 97 %, а кислород реагирует полностью.

2. При получении азотной кислоты окислением аммиака третьей стадией процесса является взаимодействие диоксида азота  $NO_2$  с водой по реакции:



Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения азотной кислоты. Производительность установки по азотной кислоте составляет 100000 т/год, количество рабочих часов в год – 8760. Содержание инертных примесей в техническом диоксиде азота составляет 3 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии диоксида азота составляет 95 %.

3. Для получения нитробензола нитрованием бензола азотной кислотой рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса. Производительность установки по нитробензолу составляет 95000 т/год, количество рабочих часов в год – 8760. Содержание инертных примесей в исходном бензоле составляет 3 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии бензола составляет 90 %, а азотная кислота реагирует полностью.

4. Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения фосфорной кислоты из элементарного фосфора ( $P_4$ ). На первой стадии процесса фосфор окисляется до  $P_2O_5$  осушенным и очищенным воздухом (состав воздуха:  $O_2$  – 25 % мас.;  $N_2$  – 75 % мас.). На второй стадии  $P_2O_5$  поглощается водой с образованием 73 % мас. ортофосфорной кислоты. Производительность установки по фосфорной кислоте 70000 т/год, количество рабочих часов в год – 8760. Содержание инертных примесей в тех-

ническом фосфоре составляет 18 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии элементарного фосфора составляет 95 %, кислорода – 85 %.

5. Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения плавиковой кислоты из плавикового шпата ( $\text{CaF}_2$ ). На первой стадии процесса  $\text{CaF}_2$  взаимодействует с серной кислотой (моногидрат). На второй стадии фтороводород поглощается водой с образованием 50 % мас. плавиковой кислоты. Производительность установки по кислоте 35000 т/год, количество рабочих часов в год – 8760. Содержание инертных примесей в техническом плавиковом шпате 25 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии плавикового шпата составляет 95 %, а серной кислоты – 98 %.

6. Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения соляной кислоты из хлористого водорода ( $\text{HCl}$ ). Хлористый водород получен на первой стадии хлорирования метана до четыреххлористого углерода. На второй стадии хлористый водород поглощается водой с образованием 40 % мас. соляной кислоты. Производительность установки по четыреххлористому углероду 85000 т/год, количество рабочих часов в год – 8760. Содержание инертных примесей в техническом метане 8 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии метана 85 %, хлора – 90 %, а селективность по четыреххлористому углероду 100 %.

7. При получении серной кислоты нитрозным методом (технология рассмотрена в приложении б) третьей стадией процесса является окисление оксида азота до диоксида азота чистым кислородом ( $\text{O}_2$ ). Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения  $\text{NO}_2$  из  $\text{NO}$ . Производительность установки по  $\text{NO}_2$  95000 кг/час. Содержание инертных примесей в оксиде азота 30 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии  $\text{NO}$  50 %, а кислорода 92 %.

8. При производстве новолачной фенолформальдегидной смолы получен полимер со средней молекулярной массой 500000 г/моль. Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения фенолформальдегидной смолы. Производительность установки по полимеру 85000 т/год, количество рабочих часов в год – 8760. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии фенола 90 %, формальде-

гида – 95 % в допущении, что селективность процесса по резольной фенолформальдегидной смоле – 100 %.

9. Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения соляной кислоты из хлористого водорода (HCl). Хлористый водород получен на первой стадии хлорирования метана в четыреххлористый углерод. На второй стадии HCl поглощается водой с образованием 40 % мас. соляной кислоты. Производительность установки по четыреххлористому углероду 80000 т/год. Содержание инертных примесей в техническом метане 10 % мас. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии метана 95 %, хлора – 98 % в допущении, что побочные продукты на всех стадиях процесса не образуются

10. Суммарная мощность предприятий в России составляет 11.67 млн. т моногидрата серной кислоты в год. 70 %  $H_2SO_4$  получают из элементарной серы. Рассчитать теоретический расход серы на производство серной кислоты в год. Расчет произвести без учета потерь и неполноты превращения серы в ходе процесса.

В условиях задания рассчитать теоретический расход:

- 1) кислорода для производства серной кислоты в год,
- 2) воздуха для производства серной кислоты в год.

Сопоставить расход кислорода, потребляемого производством серной кислоты и населением страны, если потребление  $O_2$  человеком в состоянии покоя составляет 250 мл/мин. Расчеты произвести без учета потерь и неполноты превращения кислорода в ходе процесса.

Рассчитать теоретический расход воды на производство серной кислоты в год. Расчет произвести без учета потерь и неполноты превращения воды в ходе процесса. Привести таблицу материального баланса производства (кг/год).

### **Практическая работа №6**

Расчет состава сырья и вычисление в нем процентного содержания основного компонента и примеси (пустой породы)

Цель занятия: научиться проводить расчет для решения практических задач.

#### **Задачи для решения под контролем преподавателя**

1. Определить теоретические расходные коэффициенты для следующих железных руд, применяемых при производстве 1000 кг

чугуна, который содержит 92 % железа, при условии, что руды не содержат пустой породы и примесей: шпатовый железняк  $\text{FeCO}_3$ ; лимонит  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ; гетит  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; красный железняк  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; магнитный железняк  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

2. Определить коэффициент разложения сырья и выход камерного суперфосфата на 1000 кг сырья, если в суперфосфате содержится 21.4%  $\text{P}_2\text{O}_{5\text{общ.}}$  и 20.3%  $\text{P}_2\text{O}_{5\text{усв.}}$ , а в сырье 39.4%  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

3. Рассчитать практический расходный коэффициент алунитовой руды, содержащей 23 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , для получения 1000 кг алюминия, если потери алюминия на всех технологических стадиях составляют 12 % по массе. Алунит имеет формулу  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( $M = 828$  г/моль).

### Задание для индивидуальной и самостоятельной работы

1. Одним из эффективных способов переработки пластиковых бутылок является гидролизный. При этом полиэтилентерефталат (элементарное звено цепи –  $[-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{O}-]_n$ ) со средней молярной массой 60000 г/моль распадается на исходные мономеры – терефталевую кислоту ( $\text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH}$ ) и этиленгликоль ( $\text{HO}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{OH}$ ). Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса переработки пластиковых бутылок. Ежегодно на установке перерабатывается 100000 тонн бутылок, количество рабочих часов в год – 8760. Расчет произвести без учета потерь при условии, что степень конверсии воды 85 %, полиэтилентерефталата (ПЭТФ) – 98 % в допущении, что побочные продукты в процессе гидролиза не образуются

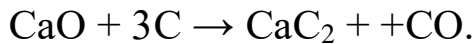
2. При получении серной кислоты из пирита ( $\text{FeS}_2$ ) на первой стадии процесса пирит окисляется до сернистого ангидрида. На второй стадии сернистый ангидрид окисляется в серный. Окисление на обеих стадиях осуществляется чистым кислородом воздуха ( $\text{O}_2$ ). На третьей стадии серный ангидрид поглощается водой с образованием серной кислоты (моногидрат). Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса получения серной кислоты из пирита. Производительность установки по серной кислоте без учета потерь при условии, что: – на 1 стадии степень конверсии пирита 80 %, кислорода 95 % в кислоте (моногидрат) 1856000 т/год, количество рабочих часов в год – 8760. Расчет %; – на 2 стадии степень конверсии сернистого ангидрида 97 %,

кислорода 92 %; – на 3 стадии серный ангидрид превращается количественно.

3. При производстве фенолформальдегидных смол образуются водные стоки, содержащие фенол и формальдегид (надсмольная вода). Воду очищают с помощью озона ( $O_3$ ), при этом и фенол, и формальдегид превращаются в воду и углекислый газ. Рассчитать и оформить таблицу материального баланса непрерывного процесса окисления надсмольной воды озоном. Ежегодно на установке очищается 90000 тонн надсмольной воды, количество рабочих часов в год – 8760. Расчет выполнить из условия, что надсмольная вода содержит 25 % мас. фенола, 15 % мас. формальдегида. Степень конверсии фенола 98 %, формальдегида – 95 %, озона – 85 % в допущении, что побочные продукты на всех стадиях процесса не образуются.

4. Определить расходные коэффициенты извести и кокса в производстве технического карбида кальция ( ), имеющего по анализу следующий состав:  $CaC_2 = A$  %,  $CaO = B$  %,  $C = B$  %, прочие примеси (ПП) =  $\Gamma$  %.

Расчет вести на 1000 кг технического продукта. Содержание в коксе: золы –  $D$  %, летучих компонентов (ЛК) –  $E$  %, влаги –  $Ж$  %, углерода –  $I$  %. Известь содержит  $K$  % чистого  $CaO$ . Карбид кальция получается по следующей реакции



Варианты контрольного задания представлены в табл. 4.

Таблица 4 - Варианты контрольного задания

| №  | Состав ТКК, %             |             |           |            | Состав кокса, % |            |               |           | CaO, % |
|----|---------------------------|-------------|-----------|------------|-----------------|------------|---------------|-----------|--------|
|    | CaC <sub>2</sub> ,<br>А % | CaO,<br>Б % | С,<br>В % | ПП,<br>Г % | Зола,<br>Д %    | ЛК,<br>Е % | Влага,<br>Ж % | С,<br>И % | К %    |
| 1  | 2                         | 3           | 4         | 5          | 6               | 7          | 8             | 9         | 10     |
| 1  | 78                        | 15          | 3         | 4          | 4               | 4          | 3             | 89        | 96,5   |
| 2  | 77                        | 16          | 3         | 4          | 3               | 3          | 5             | 89        | 96,0   |
| 3  | 78                        | 15          | 4         | 3          | 2               | 3          | 6             | 89        | 97,0   |
| 4  | 76                        | 15          | 3         | 6          | 4               | 4          | 4             | 88        | 96,4   |
| 5  | 76                        | 14          | 5         | 5          | 2               | 2          | 3             | 93        | 96,6   |
| 6  | 77                        | 13          | 3         | 7          | 4               | 4          | 3             | 89        | 96,5   |
| 7  | 77                        | 12          | 3         | 8          | 3               | 3          | 5             | 89        | 96,0   |
| 8  | 77                        | 11          | 3         | 9          | 2               | 3          | 6             | 89        | 97,0   |
| 9  | 77                        | 14          | 3         | 6          | 4               | 4          | 4             | 88        | 96,4   |
| 10 | 77                        | 15          | 3         | 5          | 2               | 2          | 3             | 93        | 96,6   |
| 11 | 78                        | 15          | 3         | 4          | 4               | 3          | 2             | 91        | 96,5   |

Продолжение табл. 4

| 1  | 2  | 3  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10   |
|----|----|----|---|---|---|---|---|----|------|
| 12 | 77 | 16 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 92 | 96,0 |
| 13 | 78 | 15 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 93 | 97,0 |
| 14 | 76 | 15 | 3 | 6 | 4 | 2 | 1 | 93 | 96,4 |
| 15 | 76 | 14 | 5 | 5 | 2 | 2 | 1 | 95 | 96,6 |
| 16 | 77 | 13 | 3 | 7 | 4 | 2 | 1 | 93 | 96,5 |
| 17 | 77 | 12 | 3 | 8 | 3 | 2 | 1 | 94 | 96,0 |
| 18 | 77 | 11 | 3 | 9 | 2 | 4 | 1 | 93 | 97,0 |
| 19 | 77 | 14 | 3 | 6 | 4 | 4 | 1 | 91 | 94,6 |
| 20 | 77 | 15 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 93 | 96,6 |

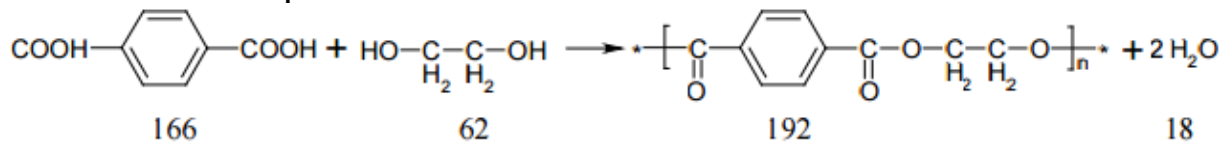
### Практическая работа №7

Расчет состава шихты различных химических производств

Цель занятия: научиться проводить расчет для решения практических задач.

#### Задачи для решения под контролем преподавателя

1. Составить материальный баланс получения полиэтилентерефталата (ПТЭФ), идущего на изготовление 1 тонны синтетического волокна. В готовом волокне содержится (% (масс): влаги – 0,5; замасливателя – 0,5; диоксида титана – 0,5). Потери при изготовлении волокна составляют 4,57%. Молекулярная масса терефталевой кислоты (ТФК) – 166, этиленгликоля (ЭГ) – 62, элементарного звена полимера – 192.



2. Жидкофазная необратимая реакция первого порядка протекает с изменением плотности реакционной смеси в реакторе периодического действия. При степени превращения  $x_A = 0$ , плотность  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ; а при  $x_A = 1$ ,  $\rho = 1040 \text{ кг/м}^3$ . Известно, что за время  $\tau = 130 \text{ с}$  объем реакционной смеси уменьшится на 12% от первоначальной величины. Определить степень превращения, которая будет достигнута в РИСНД и РИВНД объемом  $V = 0,1 \text{ м}^3$  каждый, при скорости подачи  $U = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ .

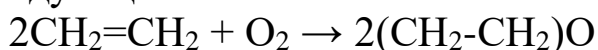
#### Задание для индивидуальной и самостоятельной работы

1. Составить материальный баланс трубчатого конвертора метана для конверсии природного газа по следующим данным: – годовая производительность агрегата по метанолу-ректификату  $M =$

750000 т; – годовой фонд рабочего времени  $Z = 7200$  ч; – расход природного газа  $947 \text{ м}^3$  на 1 т метанола-ректификата; – давление процесса конверсии 2,0 МПа; – температура на выходе из зоны катализа  $860^\circ\text{C}$ ; – объемное отношение водяной пар: природный газ 2,83:1; – степень конверсии метана (уточняется расчетом) 0,83; – состав природного газа (%):  $\text{CH}_4$ –97,9;  $\text{C}_2\text{H}_6$ –0,6;  $\text{C}_3\text{H}_8$ –0,2;  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ –0,1;  $\text{N}_2$ –0,8;  $\text{CO}_2$ –0,4.

Последовательность расчета: рассчитывают объемный расход компонентов парогазовой смеси на входе в трубчатую печь (основной аппарат стадии); определяют изменение состава газа после конверсии гомологов метана; рассчитывают состав газа после прохождения реакций конверсии метана и оксида углерода.

2. Составить материальный баланс производства оксида этилена при прямом производстве каталитическим окислением этилена воздухом. Состав исходной газовой смеси, об. %: этилен – 3, воздух – 97. Степень окисления этилена  $x = 0,5$ . Расчет вести на 1000 кг оксида этилена. Производство оксида этилена происходит по следующей схеме:



3. На упаривание поступает 9200 кг 56%-ного раствора аммиачной селитры  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . После упаривания получается 5350 кг раствора с концентрацией 96 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Составить материальный баланс процесса упаривания.

4. Составить материальный баланс печи для сжигания серы. Расчет вести на производительность печи по сжигаемой сере, кг/ч. Процесс горения описывается уравнением  $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$ .

Исходные данные приведены в табл. 5.

Таблица 5 - Варианты контрольного задания

| №  | Производительность печи, т/сут | Степень окисления серы | Коэффициент избытка воздуха |
|----|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1  | 60                             | 0,95                   | 1,5                         |
| 2  | 60                             | 0,95                   | 1,4                         |
| 3  | 60                             | 0,95                   | 1,3                         |
| 4  | 60                             | 0,95                   | 1,2                         |
| 5  | 60                             | 0,95                   | 1,1                         |
| 6  | 50                             | 0,95                   | 1,5                         |
| 7  | 50                             | 0,95                   | 1,4                         |
| 8  | 50                             | 0,95                   | 1,3                         |
| 9  | 50                             | 0,95                   | 1,2                         |
| 10 | 50                             | 0,95                   | 1,1                         |



## Вопросы и задания для собеседования

1. Определить массу гидросульфата натрия, образующегося при нейтрализации раствора серной кислоты, содержащегося 8 г гидроксида натрия.
2. Некоторое количество металла, эквивалентная масса которого равна 28 г/моль, вытесняет из кислоты 0,7 л водорода, измеренного при нормальных условиях. Определить массу металла.
3. Сколько литров водорода (н.у) потребуется для восстановления 112 г оксида металла, содержащего 71,43% металла? Определить эквивалент металла.
4. Вычислить эквивалент металла 0,5 г которого вытеснили из кислоты 184 мл водорода при 21<sup>0</sup>С и 101325 Па.
5. При взаимодействии 6 г металла с кислотой при (н.у) выделилось 2,8 л водорода. Определить исходный металл и его эквивалент.
6. Определить эквивалент металла и его атомную массу, если 1,215 г его вытесняют из серной кислоты 1,12 литров водорода (н.у). Валентность металла в соединении равна 2.
7. Найти эквивалент металла, если 2 г его взаимодействуют с 3,27 г фосфорной кислоты  $H_3PO_4$ , а 6 г этого металла вытесняют из  $H_3PO_4$  такой объем кислорода, сколько его вытесняют 2,7 г алюминия.
8. Определить эквивалент двухвалентного металла, если из 48,15 г его оксида можно получить 88,65 г его нитрата.
9. В результате реакции 2,19 г металла с водородом образовалось 2,51 г гидрида MeH. Определить эквивалент металла.
10. При взаимодействии 1,5 г металла с водным раствором щелочи при 27<sup>0</sup>С и 1 атм. выделилось 0,923 л водорода. Определить исходный металл и его эквивалент.
11. Стехиометрия. Основные Стехиометрические законы.
12. Химический эквивалент элемента. Эквивалент и эквивалентная масса сложного вещества. Закон эквивалентов.
13. Химическая реакция. Стехиометрическое уравнение химической реакции.
14. Классификация химических реакций.
15. Тепловой эффект химических превращений. Термохимические уравнения. Стехиометрические расчёты.
16. Вычисление массовых долей элементов в сложном веще-

стве по его формуле.

17. Вычисление массовой доли компонентов смеси на основе данных задачи.

18. Нахождение молекулярной формулы вещества по массовым долям элементов.

19. Установление молекулярной формулы газообразного вещества по продуктам сгорания.

20. Вычисление массы (объёма) продукта реакции по данным задачи.

21. Вычисление выхода продукта реакции в процентах от теоретически возможного

22. Влияет ли производительность реактора на величину адиабатического перепада температур?

23. Что влияет на величину адиабатического перепада температур: только степень конверсии реагентов и количество инертного разбавителя или еще и природа и, как следствие, свойства инертного разбавителя?

24. Важнейшие направления развития химической техники и технологии.

25. Химико-технологический процесс (ХТП) и его содержание. Лимитирующие стадии.

26. Процессы, протекающие в кинетической, диффузионной и переходной областях.

27. Классификация основных процессов химической технологии. Гидромеханические, массообменные (диффузионные), тепловые, химические и механические процессы.

28. Основные технологические понятия и определения, используемые в балансовых расчетах: сырье, продукт, пустая порода, примеси, шихта.

29. Экономические показатели процесса флотации: выход концентрата, степень извлечения, степень обогащения

30. Основные технико-экономические показатели химических производств: производительность, мощность, интенсивность, расходные коэффициенты, степень превращения, выход продукта, селективность.

31. Закон сохранения массы вещества и закон сохранения энергии. Теплота и теплоемкость.

32. Материальные, тепловые и экономические балансы конкретных химико-технологических процессов

## Библиографический список

1. «Сборник номограмм для определения теплофизических свойств газов, жидкостей и водных растворов веществ» (isuct.ru)
2. Трусков А. | Методика решения задач на растворы с применением правила креста | Журнал «Химия» № 4/2005 (1sept.ru)
3. ПР 3 Правило креста.pdf (tpu.ru)
4. Грошева Л.П. Стехиометрические расчеты. Методическое пособие /Новгородский государственный университет. Microsoft Word - novsu102 (window.edu.ru)
5. Министерство образования и науки Украины (udhtu.edu.ua)
6. Нейн, Ю. И. Технологические расчеты в проектировании химических установок : учебное пособие / Ю.И. Нейн, Н.П. Бельская ; под общ. ред. М.Ф. Костериной ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет.—Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021.— 166 с. : ил.—Библиогр.: с. 163–164.  
[https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/100357/1/978-5-7996-3240-3\\_2021.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/100357/1/978-5-7996-3240-3_2021.pdf)