Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технологии и оборудование химических, нефтегазовых
и пищевых производств»

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Методические указания к практическим занятиям по

по дисциплине «Общая химическая технология»

для студентов
направления подготовки
*18.03.01 «Химическая технология»*

Энгельс 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Регулируя параметры технологического режима, инженер-технолог управляет действующим производством, добиваясь наиболее рационального использования сырья, максимального выхода готового продукта и наибольшей производительности реакционной аппаратуры.

Технологические расчеты, как правило, начинаются с выбора метода производства, поскольку в задании на проектирование обычно указывается общая мощность будущего завода или цеха.

После выбора метода производства технолог приступает к составлению технологической схемы, которая включает в себя все основные аппараты и коммуникации между ними, а также транспортные линии подачи сырья и готовой продукции. В основу нового производства всегда закладываются самые прогрессивные, интенсивные, высокопроизводительные аппараты, имеющие к тому же большой срок службы, простые в обслуживании и выполненные по возможности из легкодоступных, дешевых конструкционных материалов.

Составив технологическую схему производства и определив основные направления потоков сырья, полупродуктов или полуфабрикатов, а также готовой продукции, приступают к составлению материального и энергетического балансов.

## 1. РАСЧЕТЫ РАСХОДНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Расходные коэффициенты - величины, характеризующие расход различных видов сырья, воды, топлива, электроэнергии, пара на единицу вырабатываемой продукции. При конструировании аппаратов и определении параметров технологического режима задаются также условия, при которых рационально сочетаются высокая интенсивность и производительность процесса с высоким качеством продукции и возможно более низкой себестоимостью.

**Пример 1.** Определить теоретические расходные коэффициенты для следующих железных руд в процессе выплавки чугуна, содержащего 92% Fe, при условии, что руды не содержат пустой породы и примесей:

| | Мольная масса |
|---|---|
| Шпатовый железняк $FeCO_3$ | 115,8 |
| Лимонит $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ | 373 |
| Гетит $2Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$ | 355 |
| Красный железняк $Fe_2O_3$ | 159,7 |
| Магнитный железняк $Fe_3O_4$ | 231,5 |

*Решение*

$FeCO_3$

Из 1 кмоль $FeCO_3$ можно получить 1 кмоль Fe или из 115,8 кг $FeCO_3$ - 55,9 кг Fe. Отсюда для получения 1 т чугуна с содержанием Fe 92% (масс) необходимо:

$$\frac{1 \cdot 0{,}92 \cdot 115{,}8}{55{,}9} = 1{,}9 \text{ т}$$

Аналогично находим значения теоретических расходных коэффициентов для других руд:

$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$

$$\frac{1 \cdot 0{,}92 \cdot 373}{4 \cdot 55{,}9} = 1{,}55 \text{ т}$$

$2Fe_2O_3$-$2H_2O$

$$\frac{1 \cdot 0{,}92 \cdot 355}{4 \cdot 55{,}9} = 1{,}45 \text{ т}$$

$Fe_2O_3$

$$\frac{1 \cdot 0{,}92 \cdot 159{,}7}{2 \cdot 55{,}9} = 1{,}33 \text{ т}$$

$Fe_3O_4$

$$\frac{1 \cdot 0{,}92 \cdot 231{,}5}{3 \cdot 55{,}9} = 1{,}28 \text{ т}$$

**Пример 2.** Рассчитать расходный коэффициент для природного газа, содержащего 97% (об.) метана в производстве уксусной кислоты (на 1 т) из ацетальдегида. Выход ацетилена из метана составляет 15% от теоретически возможного, ацетальдегида из ацетилена - 60%, а уксусной кислоты из ацетальдегида 90% (масс).

*Решение*

Уксусная кислота получается из метана многостадийным методом. Схематично процесс может быть описан следующими, последовательно протекающими реакциями:

$$2CH_2 \leftrightarrow C_2H_2 + 3H_2$$
$$C_2H_2 + H_2O \leftrightarrow CH_3CHO$$
$$CH_3CHO + 0{,}5O_2 \leftrightarrow CH_3COOH$$

Молекулярная масса: $C_2H_2$ - 26; $CH_3CHO$ - 44; $CH_3COOH$ - 60; $CH_4$-16.

Теоретический расход метана на 1 т уксусной кислоты составит:

$$\frac{1000 \cdot 2 \cdot 16}{60} = 534 \text{ кг}$$

с учетом выхода продукта по стадиям

$$\frac{534}{0{,}9 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}15} = 6590 \text{ кг}$$

или

$$\frac{6590 \cdot 22{,}4}{16} = 9226 \text{ см}^3 \ CH_4$$

или

$$A_{пр} = \frac{9226}{0,92} = 9500 \text{ м}^3 \text{ природного газа}$$

**Пример 3.** Определить количество аммиака, требуемое для производства 100000 т/год азотной кислоты, и расход воздуха на окисление аммиака (в м$^3$/ч), если цех работает 355 дней в году, выход окиси азота $X_1$ = 0,97%, степень абсорбции $X_2$ = 0,92, а содержание аммиака в сухой аммиачно-воздушной смеси - 7,13% (масс).

*Решение*

Окисление аммиака является первой стадией получения азотной кислоты из аммиака. По этому методу аммиак окисляется кислородом воздуха в присутствии платинового катализатора при 800-900°С до окислов азота. Затем, полученная окись азота окисляется до двуокиси, а последняя поглощается водой с образованием азотной кислоты. Схематично процесс можно изобразить следующими уравнениями:

$$4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$$

$$2NO + O_2 = 2NO_2$$

$$3NO_2 + H_2O = 2HNO_3 + NO$$

Для материальных расчетов можно в первом приближение записать суммарное уравнение этих трех стадий в виде:

$$NH_3 + 2O_2 = HNO_3 + H_2O$$

Молекулярная масса: $NH_3$ -17; $HNO_3$ -63.

Необходимое количество аммиака для получения 100000 т $HNO_3$ с учетом степени окисления и степени абсорбции составит:

$$\frac{100000 \cdot 17}{63 \cdot 0,97 \cdot 0,92} = 30300 \text{ т}$$

Расход аммиака составит:

$$\frac{1000 \cdot 30300}{355 \cdot 24} = 3560 \text{ кг/ч}$$

Объем аммиака составит:

$$\frac{3560 \cdot 22,4}{17} = 4680 \text{ м}^3$$

Расход воздуха (в м$^3$/ч), требуемый для окисления (в составе аммиачно-воздушной смеси), будет равен

$$\frac{4680 \cdot (100 - 11,5)}{11,5} = 36000 \text{ м}^3$$

где 11,5 - содержание $NH_3$ в смеси в % (об), то есть

$$\frac{\frac{7,13}{17} \cdot 100}{\frac{7,13}{17} + \frac{92,87}{29,0}} = 11,5$$

## 2. СТЕХНОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Расчеты технологических процессов, в результате которых происходит химическое изменение вещества, основаны на стехиометрических законах: законе постоянства состава и законе кратных отношений, которые выражают собой взаимное отношение атомов и молекул при их химическом взаимодействии друг с другом.

Согласно закону постоянства состава, любое вещество, какими бы способами его ни получали, имеет вполне определенный, постоянный состав.

Закон кратных отношений состоит в том, что при образовании какого-либо простого или сложного вещества элементы в его молекулу входят в количествах, равных или кратных их атомной массе. Если же отнести этот закон к объемам вступающих в реакцию веществ, то он примет следующую формулировку: если вещества вступают в химическую реакцию в газообразном состоянии, то они при одинаковых условиях (P и t) могут соединяться только в объемах, которые относятся между собой как целые числа.

**Пример 4.** Химический анализ природного известняка показал следующее: из навески 1,0312 г путем ее растворения, последующего осаждения ионов $Ca^2$+ щавелевокислым аммонием и прокаливания осадка $CaC_2O_4$ получено 0,5384 г CaO; из навески 0,3220 г путем разложения кислотой получено 68,5 см$^3$ $CO_2$ (приведенных к нормальным условиям). Подсчитать содержание углекислого кальция и магния в известняке, если весь кальций в нем находится в виде $CaCO_3$, а угольная кислота - в виде карбонатов кальция и магния.

*Решение*

Молекулярная масса CaO - 56,08; $CO_2$ - 44,0; $CaCO_3$ - 100,1 и $MgCO_3$ - 84,32. Мольный объем $CO_2$ 22,26 м$^3$/кмоль (22260 см$^3$/кмоль). По данным анализа, из 100 г природного известняка получено

$$\frac{0{,}5384 \cdot 100}{1{,}0{,}12 \cdot 56{,}08} = 0{,}931 \text{ моль CaO}$$

$$\frac{68{,}5 \cdot 100}{0{,}3220 \cdot 22260} = 0{,}956 \text{ моль } CO_2$$

Отсюда следует, что в 100 г известняка содержится 0,931 моль, или 0,931·100,1=93,2 г $CaCO_3$. На это количество $CaCO_3$ выделится при разложении 0,931 моль $CO_2$. Остальные 0,956-0,931 = 0,025 моль $CO_2$ связаны в известняке в виде $MgCO_3$. Следовательно, в 100 г известняка содержится 0,025-84,32 = 2,1 г $MgCO_3$. Таким образом, природный известняк содержит: 93,2% $CaCO_3$, 2,1% $MgCO_3$ и 4,7°/$_0$ пустой породы.

## 3.РАСЧЕТЫ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Химическим реактором называют аппарат, в котором осуществляют химико-технологические процессы, сочетающие химические реакции с тепло- и массообменном. От правильности выбора типа реактора и от его совершенства зависит эффективность всего процесса. Многообразие химических процессов обусловливает и разнообразие химических реакторов, используемых в них. В соответствии с этим и классификация реакторов может быть осуществлена по различным признакам. Наиболее существенным для расчетов является деление реакторов по времени работы, а именно,

1) периодического действия; 2) непрерывного действия с установившимся и неустановившимся потоками. Такое деление реакторов применимо как для гомогенных, так и для гетерогенных процессов, протекающих в кинетической области, так как математическое описание процессов будет одинаковым.

Современные крупнотоннажные химические процессы осуществляются в основном в реакторах непрерывного действия.

Для определения конструкции и размеров любого реактора необходимы сведения: 1) о скоростях протекания химических реакций, тепло- и массопередачи; 2) о гидродинамической обстановке в реакторе. Во всех случаях исходным соотношением является материальный баланс, составленный по одному из компонентов реакционной смеси. Их закона сохранения массы вещества следует, что масса вещества, поступающего систему, должна быть равна массе веществ, покидающих систему и остающихся в ней.

Материальный баланс можно представить в виде дифференциальных уравнений, относящихся к единице объема. Уравнение материального баланса, составленное для основного исходного вещества, содержит следующие составляющие: количество вещества, поступающего в элементарный объем в единицу времени, количество вещества, выходящего из элементарного объема в единицу времени, скорость расходования исходного вещества в результате химической реакции, протекающей в элементарном объеме, скорость накопления вещества в элементарном объеме.

Если концентрация вещества во всем объеме реактора одинакова, то материальный баланс можно составить для всего аппарата. Если же концентрация вещества различна в разных точках реакционного пространства, то материальный баланс составляется для элементарного объема, и затем уравнение интегрируют в соответствии с распределением потоков и концентраций в объеме реактора.

Если реакция протекает в неизотермических условиях, то материальный баланс рассматривают совместно с тепловым. Тепловой баланс записывается аналогично материальному в следующем виде: количество теплоты, поступающего в элементарный объем в единицу времени = количество теп-

лоты, отданное элементарным объемом в единицу времени) + (скорость расходования исходного вещества в результате

химической реакции, протекающей в элементарном объеме + скорость накопления вещества в элементарном объеме.

Для расчета реакторов используют их идеализированные модели. Обычно выделяют три типа идеальных реакторов:

а) периодический реактор полного смешения;

б) проточный реактор идеального вытеснения;

в) проточный реактор полного смешения.

*Реактор смешения периодического действия* – аппарат, в который единовременно загружаются исходные компоненты и находятся в нем определенное время, до достижения необходимой степени превращения. Затем полученную смесь выгружают. В таком реакторе состав реакционной массы одинаков во всем объеме и непрерывно изменяется во времени.

*Реактор идеального вытеснения* характеризуется тем, что любой элемент объема реагирующей среды движется по высоте (длине) реактора параллельно другим элементам, не смешиваясь с предыдущим и последующими элементами объема.

## 4. МАТЕРИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Материальный баланс отражает закон сохранения массы вещества:

**во всякой замкнутой системе масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, получившихся в результате реакции.**

Применительно к материальному балансу любого технологического процесса это означает, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию - приход, равна массе всех веществ, получившихся в результате ее, - расходу.

Материальный баланс может быть представлен уравнением, левую часть которого составляет масса всех видов сырья и материалов, поступающих на переработку, а правую - масса получаемых продуктов плюс производственные потери:

$$\Sigma m_{исх} = \Sigma m_{кон} + \Sigma m_{пот} \qquad (1)$$

В процессе не всегда присутствуют все фазы, в одной фазе может содержаться несколько веществ, что приводит к упрощению или усложнению уравнения (1).

Теоретический материальный баланс рассчитывается на основе стехиометрического уравнения реакции. Для его составления достаточно знать уравнение реакции и молекулярные массы компонентов.

Практический материальный баланс учитывает состав исходного сырья и готовой продукции, избыток одного из компонентов сырья, степень превращения, потери сырья и готового продукта и т. д.

Из данных материального баланса можно найти расход сырья и вспомогательных материалов на заданную мощность аппарата, цеха, предприятия, себестоимость продукции, выходы продуктов, объем реакционной зоны, число реакторов, производственные потери (непроизводительный расход сырья, материалов, готового продукта на разлив, утечку, унос).

Расчеты обычно выполняют в единицах массы (кг, т); можно вести расчет в молях. Только для газовых реакций, идущих без изменения объема, в некоторых случаях, возможно ограничиться составлением баланса в кубических метрах.

Результаты подсчетов материального баланса сводятся в таблицу 1.

Типовая таблица материального баланса

| Приход | | Расход | |
|---|---|---|---|
| Статьи прихода | Количество | Статьи расхода | Количество |
| Продукт А | $m_A$ | Продукт А (остаток) | $m_{A1}$ |
| Продукт В | $m_B$ | Продукт В (остаток) | $m_{B1}$ |
| | | Продукт С | $m_C$ |
| | | Продукт D | $m_D$ |
| | | Производственные потери | $\Delta m$ |
| Итого: | m | | m |

Если баланс не сходится, то считают неувязку баланса (Н), которая не должна превышать 1,5%.

$$H = \frac{m_{пр} - m_{рас}}{m_{пр}} \cdot 100\% \ ,$$

где $m_{пр}$ - сумма масс веществ вступивших в реакцию; $m_{рас}$ - сумма масс веществ получившихся в ходе реакции.

## Составление материальных балансов

**Пример 5**. Составить материальный баланс печи для сжигание серы производительностью 60 т/сутки. Степень окисления серы 0,95 (остальная сера возгоняется и сгорает вне печи). Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,5$. Расчет следует вести на производительность печи по сжигаемой сере в кг/ч.

*Решение*

Процесс горения серы описывается уравнением; реакции

$$S + O_2 = SO_2$$

производительность печи

$$\frac{60}{24} = 2,5 \text{ т/ч} = 2500 \text{ кг/ч серы}$$

Количество окисленной до $SO_2$ серы

$$2500 \cdot 0{,}95 = 2375 \text{ кг}$$

Осталось в виде паров неокисленной серы

$$2500 - 2375 = 125 \text{ кг}$$

Израсходовано кислорода на окисление

$$V_{O_2} = \frac{2375 \cdot 22{,}4}{32} = 1670 \text{ м}^3$$

С учетом коэффициента избытка α

$$1670 \cdot 1{,}5 = 2500 \text{ м}^3 \text{ или } \frac{2500 \cdot 32}{22{,}4} = 3560 \text{ кг } O_2$$

С кислородом поступает азота

$$V_{N_2} = \frac{2500 \cdot 79}{21} = 9450 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{9450 \cdot 28}{22.4} = 11800 \text{ кг}$$

Образовалось в результате реакции двуокиси серы

$$\frac{2375 \cdot 64}{32} = 4750 \text{ кг}$$

или

$$V_{SO_2} = \frac{4750}{64} \cdot 22{,}4 = 1675 \text{ м}^3$$

Осталось неизрасходованного кислорода

$$1670 \cdot 0{,}5 = 835 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{835}{22{,}4} \cdot 32 = 1185 \text{ кг}$$

Полученные данные сводим в таблицу:

Материальный баланс печи для сжигания серы

| Приход | | | Расход | | |
|---|---|---|---|---|---|
| исходное вещество | кг | м$^3$ | продукт | кг | м$^3$ |
| S | 2500 | | S | 125 | |
| $O_2$ | 3560 | 2500 | $SO_2$ | 4750 | 1670 |
| $N_2$ | 11800 | 9450 | $O_2$ | 1185 | 835 |
| | | | $N_2$ | 11800 | 9450 |
| Итого: | 17860 | 11950 | Итого: | 17860 | 11955 |

**Пример 6.** Составить материальный баланс производства окиси этилена прямым каталитическим окислением этилена воздухом. Состав исходной газовой смеси в % (об.): этилен - 3, воздух - 97. Степень окисления этилена X = 0,5. Расчет следует вести на 1 т окиси этилена.

*Решение*

Окись этилена является одним из важнейших полупродуктов, имеющих широкое применение в различных синтезах - для получения этиленгли-

коля, полигликолей, лаковых растворителей, пластификаторов, этаноламинов, различных эмульгирующих и моющих средств; соединения, синтезируемые из окиси этилена, находят применение в производстве синтетических волокон, каучуков и других продуктов.

В настоящее время применяются два основных метода получения окиси этилена:

1. гипохлорирование этилена с последующим отщеплением хлористого водорода от получающегося этиленхлоргидрина;

2. прямое каталитическое окисление этилена. При пропуска пропускании смеси воздуха с этиленом (нижний предел взрываемости эти леновоздушной смеси - 3,4% $C_2H_4$) на серебряном катализаторе при 250-280°С образуется окись этилена:

$$2CH_2{=}CH_2 + O_2 = 2\underset{\diagdown\ O\ \diagup}{CH_2 - CH_2}$$

Окись этилена из газовой смеси выделяют водной адсорбцией, а остаточный газ направляют во второй контактный аппарат.

По уравнению реакции находи расход этилена на 1 т окиси этилена. Из 28 кг этилена образуется 44 кг $C_2H_2O$ или расход $C_2H_4$ на 1000 кго окиси этилена составит:

$$\frac{28 \cdot 1000}{44} = 640 \text{ кг}$$

С учетом степени окисления:

$$\frac{640}{0{,}5} = 1280 \text{ кг} \quad \text{или} \quad \frac{128 \cdot 22{,}4}{28} = 1020 \text{ м}^3$$

Объем воздуха в этиленвоздушной смеси составит

$$\frac{1020 \cdot 97}{3} = 33000 \text{ м}^3$$

в том числе кислорода 33000·0,21 = 6800 м$^3$ или

$$\frac{6800}{22{,}4} \cdot 32 = 9700 \text{ кг}$$

азота 33000·0,79 – 26200 м$^3$ или

$$\frac{26200}{22{,}4} \cdot 28 = 32500 \text{ кг}$$

Израсходовано кислорода на окисление

$$\frac{1020 \cdot 0{,}5}{2} = 255 \text{ м}^3$$

В продуктах окисления содержится кислорода:

$$6800 - 255 = 6545 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{6545 \cdot 32}{22{,}4} = 9340 \text{ кг}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Материальный баланс на 1 т окиси этилена

| Приход | | | Расход | | |
|---|---|---|---|---|---|
| исходное вещество | кг | $м^3$ | продукт | кг | $м^3$ |
| Этилен | 1280 | 1020 | Окись этилена | 1000 | 510 |
| Воздух | | | Этилен | 640 | 510 |
| в том числе: | | | Кислород | 9340 | 6545 |
| кислород | 9700 | 6800 | Азот | 32500 | 26200 |
| азот | 32500 | 26200 | | | |
| Итого | 434800 | 34020 | Итого | 43480 | 33765 |

**Пример 7.** Составить материальный баланс отделения окисления аммиака на 1 т азотной кислоты. Степень окисления $NH_3$ до NO - 0,97 и до $N_2$ - 0,03; NO до $NO_2$ - 1,0 и степень абсорбции 0,92. Содержание аммиака в сухой аммиачно-воздушной смеси 7,13% (масс). Воздух насыщен парами воды при 30°С. Относительная влажность 80%.

*Решение*

Азотную кислоту получают окислением аммиака кислородом воздуха с последующей переработкой образующихся окислов азота.

Балансовое уравнение производства азотной кислоты из аммиака можно записать следующим образом:

$$NH_3 + 2O_2 = HNO_3 + H_2O + 411{,}2 \text{ кДж/моль}$$

Окисление аммиака до окиси азота производят на платиновом или окиснохромовом катализаторе.

Затем окись азота окисляют до двуокиси и последнюю поглощают водой и азотной кислотой.

В соответствии с балансовым уравнением из 1 кмоль $NH_3$ образуется 1 кмоль $HNO_3$. Количество аммиака, необходимое для производства 1 т $HNO_3$ составит

$$\frac{1 \cdot 17}{63 \cdot 0{,}97 \cdot 0{,}92} = 0{,}303 \text{ т} = 303 \text{ кг}$$

где молекулярная масса: $HNO_3$ – 63; $NH_3$ – 17

или

$$\frac{300 \cdot 22{,}4}{17} = 400 \text{ м}^3$$

Расход воздуха на 1 т $HNO_3$ составит

$$\frac{303(100 - 7{,}13)}{7{,}13} = 3950 \text{ кг}$$

или

$$\frac{3950 \cdot 22{,}4}{29{,}0} = 3070 \text{ м}^3$$

где 29,0 – молекулярная масса воздуха.

В том числе:

кислорода

$$\frac{3070 \cdot 21}{100} = 645 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{645 \cdot 32}{22,4} = 923 \text{ кг}$$

азота

$$\frac{3070 \cdot 79}{100} = 2425 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{2425 \cdot 28}{22,4} = 3030 \text{ кг}$$

Поступает сухих газов 3070 м$^3$. Парциальное давление паров воды при 30°С и относительной влажности 80% составит:

$$0,8 \cdot 4,22 \cdot 10^3 = 3,37 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

где $4,22 \cdot 10^3$ Па давление насыщенного водяного пара при 30°С.

С газом поступают воды:

$$\frac{3070 \cdot 3,37 \cdot 10^3}{(101 - 3,37) \cdot 10^3} = 105 \quad \text{или} \quad \frac{105 \cdot 18}{22,4} = 84,5 \text{ кг}$$

Расчет состава нитрозных газов. Образуется по реакции

$$4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$$

окиси азота

$$400 \cdot 0,97 = 388 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{388 \cdot 30}{22,4} = 518 \text{ кг}$$

воды

$$\frac{388 \cdot 6}{4} = 582 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{582 \cdot 18}{22,4} = 468 \text{ кг}$$

Расходуется кислорода:

$$388 \cdot \frac{5}{4} = 485 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad 485 \cdot \frac{32}{22,4} = 693 \text{ кг}$$

По реакции:

$$4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O$$

образуется азота

$$\frac{400 \cdot 0,03 \cdot 2}{4} = 6 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{6 \cdot 28}{22,4} = 7,5 \text{ кг}$$

воды

$$\frac{400 \cdot 0,03 \cdot 6}{4} = 18 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{18 \cdot 18}{22,4} = 14,5 \text{ кг}$$

Расходуется кислорода:

$$\frac{400 \cdot 0,03 \cdot 3}{4} = 9 \text{ м}^3 \quad \text{или} \quad \frac{9,32}{22,4} = 12,7 \text{ кг}$$

| Состав нитрозных газов: | кг | м$^3$ | % (об) |
|---|---|---|---|
| NO | 518,0 | 388 | 10,3 |
| $O_2$ | 923-693-12,7=217,3 | 152 | 4,1 |
| $N_3$ | 3030+7,5=3037,5 | 2430 | 66,6 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $H_2O$ | 14,5+468+84,5=567 | 706 | 19,1 |

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Материальный баланс на 1 т $HNO_3$

| Приход | | | Расход | | |
|---|---|---|---|---|---|
| исходное вещество | кг | $м^3$ | продукт | кг | $м^3$ |
| Аммиачно-воздушная смесь: | | | Нитрозные газы: | | |
| $NH_3$ | 303 | 400 | NO | 518 | 388 |
| $O_2$ | 923 | 645 | $O_2$ | 217,3 | 152 |
| $N_2$ | 3030 | 2425 | $N_2$ | 3037,5 | 24,30 |
| $H_2O$ | 84,5 | 105 | $H_2O$ | 567 | 706 |
| Итого | 4340,5 | | Итого | 4339,8 | |

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

**1**. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса получения пероксида натрия:

$$2Na+O_2 \rightarrow Na_2O_2$$

если технический натрий содержит 3% примесей, горение натрия происходит в сухом воздухе с содержанием кислорода 21% масс., степень превращения натрия в пероксид - 98,5%.

2. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса производства соды по способу Леблана (сплавление при 1000°С):

$$Na_2SO_4+2C+CaCO_3 \rightarrow Na_2CO_3+CaS+CO_2\uparrow$$

если известно, что степень превращения сульфата натрия в целевой продукт составляет 80%, технический карбонат кальция содержит 15% примесей и берется с 25%-ным избытком от теоретически необходимого количества.

3.Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса получения нитрата калия методом конверсии чилийской селитры:

$$KCl+NaNO_3 \rightarrow NaCl+KNO_3$$

если содержание основного вещества в обогащенном нитрате натрия 56%, степень превращения составляет 80%, технический хлорид калия содержит 15% примесей и используется в виде 73% водного раствора.

4. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса производства оксида магния из обогащенного магнезита

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2\uparrow$$

с учетом содержания основного вещества в магнезите 48%, степень превращения - 85%. Побочными процессами, происходящими при прокаливании магнезита пренебречь.

5. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса производства водорода по реакции:

$$CaH_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H_2\uparrow$$

если степень разложения гидрида кальция - 98%, содержание примесей -8%, а вода берется с 30% избытком от стехиометрически необходимого количества.

6. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса получения негашеной извести из кальцита (содержание основного вещества в обогащенном минерале составляет 58%, степень разложения 90%):

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$$

Побочными процессами, происходящими при прокаливании кальцита пренебречь.

7. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса получения бария алюмотермическим способом в вакуумной печи при ~ $1200^0$C по реакции:

$$3BaO + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Ba$$

если степень превращения оксида бария 96%, а технический алюминий, содержащий 2% примесей берется с 15% избытком.

8. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса восстановления железа из оксида алюмотермическим способом:

$$3Fe_3O_4 + 8Al \rightarrow 4Al_2O_3 + 9Fe$$

если содержание примесей в оксиде железа-6%, степень разложения составляет 96%. Алюминий, содержащий 3,5% примесей берется с избытком 20% от стехиометрически необходимого количества.

9. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса получения сульфата аммония по реакции:

$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

если степень превращения аммиака 90%, а 70%-ная серная кислота берется с 15% избытком.

10. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса получения водорода карбидным способом по реакции:

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$$

если степень разложения технического (содержание примесей - 7%) карбида

кальция - 95%, а вода берется с 20% избытком от стехиометрически необходимого количества.

11. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью процесса получения водорода по реакции:

$$6NH_3+3Mg \rightarrow 3Mg(NH_2)_2+3H_2\uparrow$$

если аммиак берется с 10% избытком, содержание примесей в техническом магнии - 6%, степень превращения - 87%.

12. Составить материальный баланс получения гидразина $N_2H_4$ по реакции

$$2NH_3+NaOCl \rightarrow N_2H_4+NaCl+H_2O$$

с учетом того, что степень превращения аммиака составляет 25%, а 76% водный раствор NaOCl берется с 20% избытком

13. Составить материальный баланс получения йода по реакции:

$$2KI+MnO_2+2H_2SO_4 \rightarrow I_2+K_2SO_4+MnSO_4+2H_2O$$

если степень превращения иодида калия 85%, а 80%-ная $H_2SO_4$ берется с 10% избытком.

14. Составить материальный баланс получения каломели $Hg_2Cl_2$ по реакции:

$$2HgCl_2+SO_2+2H_2O \rightarrow Hg_2Cl_2+2HCl+H_2SO_4$$

если степень превращения технического $HgCl_2$, содержащего 7% примесей составляет 80%, диоксид серы берется с 10% избытком, а вода - с 40% избытком.

15.Рассчитать количество сырья, необходимое для получения 1 т циклопропана по реакции:

$$Cl\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}Cl+Zn \rightarrow \underset{\diagdown\ \diagup}{CH_2\text{-}CH_2}+ ZnCl_2$$

$$CH_2$$

если степень превращения 1,3 дихлорпропана - 95%, а технический цинк (примеси-15%) берется с 20% избытком от стехиометрически необходимого количества.

16.Рассчитать количество сырья, необходимое для получения 1 т толуола по реакции:

$$C_6H_5\text{-}MgCl+CH_3\text{-}Cl \rightarrow C_6H_5\text{-}CH_3+ MgCl_2$$

если степень превращения фенилмагнийхлорида - 80%, а хлористый метил берется с 30% избытком от стехиометрически необходимого количества.

17.Рассчитать количество сырья, необходимое для получения 1 т плавиковой кислоты HF по реакции:

$$CaF_2+H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4+HF$$

если степень превращения фторида кальция - 80%, а серная кислота с концентрацией 98% берется с 15% избытком от стехиометрически необходимого количества.

18. Составить материальный баланс получения ванадия при $950^0C$ по реакции:

$$V_2O_5+5Ca \rightarrow 2V+5CaO$$

если степень превращения оксида ванадия 85%, а технический кальций, содержащий 8% примесей берется с 30% избытком.

19.Составить материальный баланс процесса получения карбида магния $Mg_2C_3$ по следующей схеме

$$MgCl_2+CaC_2 \rightarrow MgC_2+CaCl_2$$

$$6MgC_2 \rightarrow 3Mg_2C_3 + 3C$$

если известно, что сухой хлорид магния содержит 12% примесей и берется с 42% избытком, поступает с влажностью 2,5%; в карбиде кальция 3,5% примесей, а его степень превращения =0,88

20. Составить материальный баланс получения борной кислоты

$$Na_2B_4O_7 + 2HCl + 5H_2O \rightarrow 4H_3BO_3 + 2NaCl$$

если известно, что воздушносухая бура $Na_2B_4O_7$ содержит 96,5% основного вещества, степень превращения - 87%, поступает в реактор с влажностью 8%; 56% соляная кислота берется с 25% избытком.

21. Составить материальный баланс получения аммиака по способу

$$NaNO_3 + 4Zn + 7NaOH + 6H_2O \rightarrow 4Na_2[Zn(OH)_4] + NH_3$$

если известно, что воздушносухой технический нитрат натрия содержит 13,5% примесей, влажность - 4,8%, берется с 15% избытком; содержание примесей в цинке - 3,5%, степень превращения -96%; концентрация раствора едкого натра - 68%, берется с избытком 28% от стехиометрически необходимого количества.

22. Составить материальный баланс получения азотистоводородной кислоты по уравнениям:

$$NaNH_2 + N_2O \rightarrow NaN_3 + H_2O$$

$$2NaN_3 + H_2SO_4 \text{ разб.} \rightarrow 2HN_3 + Na_2SO_4$$

если известно, что серная кислота концентрацией 15% берется с 46% избытком; оксид азота содержит 2% примесей (масс), степень превращения - 78%, избыток - 10% от стехиометрически необходимого количества; $NaNH_2$ содержит 6% примесей (масс), степень превращения - 66%.

23. Составить материальный баланс получения фосфора по уравнениям:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 3SiO_2 \rightarrow 3CaSiO_3 + P_2O_5$$

$$P_2O_5 + 5C \rightarrow 2P + 5CO$$

если известно, что воздушносухой фосфат кальция содержит 22% примесей, степень превращения - 89%, избыток - 18% от стехиометрически необходимого количества; диоксид кремния содержит 12% примесей, ст. превращения - 77%, избыток - 45%; технический углерод содержит 3,5% примесей, степень превращения =90%.

24. Составить материальный баланс получения суперфосфата

$$Ca_3(PO4)_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4$$

если известно, что воздушносухой фосфат кальция содержит 28% примесей,

степень превращения - 80%, влажность - 8%; серная кислота концентрацией 88% берется с 25% избытком.

25. Составить материальный баланс получения дитионистой кислоты

$$2NaHSO_3 + H_2SO_3 + Zn \rightarrow 2ZnSO_3 + Na_2S_2O_4 + 2H_2O$$

если известно, что воздушносухой гидросульфат натрия содержит 11% примесей, степень превращения - 85%, избыток - 8%, влажность - 6%; серная кислота концентрацией 80% берется с 25% избытком; технический цинк содержит 6% примесей, степень превращения - 96%.

26. Составить материальный баланс получения хлорита натрия

$$4NaOH + Ca(OH)_2 + C + 4ClO_2 \rightarrow 4NaClO_2 + CaCO_3 + 3H_2O$$

если известно, что едкий натр поступает в виде 84% раствора с избытком 18%, степень превращения - 96%; воздушносухой гидроксид кальция содержит 11% примесей, влажность - 6%, берется с избытком 23%; технический углерод содержит 4% примесей, степень превращения =95%; оксид хлора берется с 15% избытком от стехиометрически необходимого количества, степень превращения = 0,76.

25. Составить материальный баланс получения йода

$$2KI + MnO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow I_2 + K_2SO_4 + MnSO_4 + 2H_2O$$

если известно, что серная кислота поступает в виде 75% раствора с избытком 18%, степень превращения - 96%; воздушносухой оксид марганца содержит 6% примесей, влажность - 9%, берется с избытком 23%; степень превращения иодида калия = 0,88, содержание в нем примесей - 2%.

26. Составить материальный баланс получения йода

$$NaIO_3 + 3SO_2 + 3H_2O \rightarrow NaI + 3H_2SO_4$$

$$4NaI + 2CuSO_4 \rightarrow 2CuI_2 + I_2 + 2Na_2SO_4$$

если известно, что сульфат меди поступает в виде 84% раствора с избытком 18%, степень превращения - 96%; воздушносухой $NaIO_3$ содержит 2% примесей, влажность - 6%, степень превращения-92%; диоксид серы содержит 8% примесей, берется с 20% избытком; вода также берется с 15% избытком от стехиометрически необходимого количества.

27.Составить материальный баланс получения цинка из сфалерита (цинковой обманки)

$$2ZnS + 3O_2 \rightarrow 2ZnO + 3SO_2$$

$$ZnO + CO \rightarrow Zn + CO_2$$

если известно, что воздух (содержание кислорода 21% масс, остальное - азот) подается с избытком 22%; воздушносухой сфалерит содержит 84% основного вещества, влажность - 6%, степень превращения=86%; оксид углерода содержит 6% примесей, берется с 15% избытком от стехиометрически необходимого количества. Расход кислорода на побочные реакции не учитывать.

28. Составить материальный баланс очистки нефтепродуктов, содержащих 3,4% $H_2S$ до содержания $H_2S$ = 0,3% при помощи 1 т. смеси веществ,

содержащей 16% этаноламина, 41% фенолята натрия и $K_3PO_4$ по реакциям:
$2NH_2CH_2CH_2OH+H_2S=(CH_2CH_2OHNH_3)_2S$

$$C_6H_5ONa+H_2S=C_6H_5OH+NaHS$$

$$K_3PO_4+H_2S=K_2HPO_4+KHS$$

считать, что реакции протекают полностью.

29. Составить материальный баланс производства $HNO_3$ из 1000 $м^3$ $NH_3$ (содержание примесей -8%, степень превращения - 48%) по реакциям:

$$4NH_3+5O_2=4NO+6H_2O$$

$$2N0+O_2=2NO_2$$

$$4NO_2+O+2H_2O=4HNO_3$$

для окисления используется кислород воздуха, избыток - 24%.
(состав воздуха: кислород -21%, азот - 79%)

30. Составить материальный баланс производства $H_2SO_4$ по реакциям:

$$S+O_2=SO_2$$

$$2S0_2+O_2=2SO_3$$

$$SO_3+H_2O=H_2SO_4$$

окисление проводят кислородом воздуха (21% кислорода), избыток которого составляет 36%, избыток воды - 33%, содержание примесей в воздушносухой сере - 12%, влажность - 4%, степень превращения -94%.

31. Составить материальный баланс производства суперфосфата, если известно, что воздушносухой аппатитовый концентрат содержит 46% основного вещества, степени превращения $Ca_5F(PO_4)_3$ по реакции - 86%, поступает с влажностью 12%; фосфорная кислота концентрацией 92% берется с 18% избытком

$$Ca_5F(PO_4)_3+7H_3PO_4+5H_2O=5\{Ca(H_2PO_4)_2\cdot H_2O\}+HF$$

32. Составить материальный баланс процесса получения хлорида хромила по реакции:

$$K_2Cr_2O_7 + 4KCl + 3\ H_2SO_4 \rightarrow 2CrO_2Cl_2\uparrow + 3K_2SO_4 + 3H_2O$$

если $K_2Cr_2O_7$ содержит 12% примесей, степень его превращения 86%; KCl содержит 6% примесей и используется в виде 85% раствора; $H_2SO_4$ 73% концентрации берется с 25% избытком.

33. Составить материальный баланс процесса получения $Na_2CrO_4$ по реакции:

$$Cr_2O_3 + 2Na_2CO_3 + 3KNO_3 \rightarrow 2Na_2CrO_4 + 3KNO_2 + CO_2\uparrow$$

если $Cr_2O_3$ содержит 6% примесей, степень его превращения 64%; $Na_2CO_3$ используется в виде 94% раствора и берется с 40% избытком; $KNO_3$ содержит 12,5% примесей и используется в виде раствора 67% концентрации.

34. Составить материальный баланс процесса получения дисульфатпероксотитановой кислоты по реакции:

$$TiOSO_4 + H_2O_2 + H_2SO_4 \rightarrow H_2[TiO_2(SO_4)_2] + H_2O$$

если $TiOSO_4$ содержит 16% примесей, степень его превращения 76%; $H_2O_2$ используется в виде 96% раствора; $H_2SO_4$ используется в виде раствора 68%

концентрации и берется с 60% избытком.

35. Составить материальный баланс процесса получения теллуровой кислоты по реакции:

$$3H_2TeO_3 + 2H_2CrO_4 + 4H_2O \rightarrow Cr_2O_3 + 3H_6TeO_3$$

если техническая теллуристая кислота $H_2TeO_3$ содержит 3% примесей, степень её превращения 65% и используется в виде 46% раствора; $H_2CrO_4$ используется в виде раствора 84% концентрации и берется с 40% избытком.

36. Составить материальный баланс процесса получения $H_3[AlF_6]$

$$Al_2O_3 + 12HF \rightarrow 2H_3[AlF_6] + 3\ H_2O$$

$$2H_3[AlF_6] + 3Na_2CO_3 \rightarrow 2Na_3AlF_6 + 3H_2O + CO_2$$

если известно, что содержание оксида алюминия в сырье 56%, степень превращения 69%; плавиковая кислота HF концентрацией 76% берется с 15% избытком; карбонат натрия содержит 8% примесей, используется в виде раствора 60% концентрации с избытком 25%.

37. Составить материальный баланс процесса получения гидрида алюминия:

$$4LiH + AlCl_3 \rightarrow LiAlH_4 + 3LiCl$$

$$3LiAlH_4 + AlCl_3 \rightarrow 4AlH_3 + 3LiCl$$

если известно, что гидрид лития содержит 2% примесей, степень превращения 56%; хлорид алюминия содержит 12% примесей, берется с 65% избытком, процесс проводят при температуре $560^0$C.

38. Составить материальный баланс процесса карбоната калия формиатным способом:

$$K_2SO_4 + Ca(OH)_2 + 2CO \rightarrow 2HCOOK + CaSO_4$$

$$2HCOOK + O_2 \rightarrow K_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

если известно, что содержание примесей в техническом сульфате калия 13%, степень превращения 69%; гашеная известь используется в виде 35% раствора, берется с 20% избытком; для окисления формиата калия используется воздух (содержание кислорода 21% масс.) с избытком 15% от стехиометрически необходимого количества.

39. Составить материальный баланс процесса получения $H_3[AlF_6]$

$$Al_2O_3 + 12HF \rightarrow 2H_3[AlF_6] + 3\ H_2O$$

$$2H_3[AlF_6] + 3Na_2CO_3 \rightarrow 2Na_3AlF_6 + 3H_2O + CO_2$$

если известно, что содержание оксида алюминия в сырье 56%, степень превращения 69%; плавиковая кислота HF концентрацией 76% берется с 15% избытком; карбонат натрия содержит 8% примесей, используется в виде раствора 60% концентрации с избытком 25%.

40. Составить материальный баланс производства метанола из 1000 $м^3$ смеси CO и $CO_2$ в соотношении 3:1 по реакциям :

$$CO+2H_2 \rightarrow CH_3OH\ (1),$$

$$CO_2+3H_2 \rightarrow CH_3OH+H_2O\ (2),$$

Степень превращения CO = 62%; степень превращения $CO_2$ = 93%; водород

берется с 25% избытком от стехиометрически необходимого количества.

## Литература

### Основная

1. Закгейм А.Ю. Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Закгейм А.Ю.— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, 2012.— 304 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/9103.— ЭБС «IPRbooks».

2. Луценко О.В. Технологические процессы, производства и оборудование [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Луценко О.В.— Электрон. текстовые данные.— Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012.— 90 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/28408.— ЭБС «IPRbooks».

3. Корс Л.Г. Некоторые производственные задачи в химии и химической технологии [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие/ Корс Л.Г., Корс Н.В.— Электрон. текстовые данные.— Калининград: Российский государственный университет им. Иммануила Канта, 2009.— 67 с. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/23806. — ЭБС «IPRbooks».

4. Игнатенков В.И. Примеры и задачи по общей химической технологии / В.И.Игнатенков, В.С.Бесков. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. - 198 с.

5. Москвичев Ю.А. Теоретические основы химической технологии / Ю.А.Москвичев, А.К.Григорьев, О.С.Павлов. – М.: Академия, 2005. – 272с.

6. Общая химическая технология / Под ред. В.И.Ксензенко. – М.: КолосС, 2003. - 328 с.

### Дополнительная

7. Абалонин Б.Е. Основы химических производств / Б.Е.Аболонин, И.М.Кузнецова, Х.Э.Харлампиди. - М.: Химия, 2001. – 472 с.

8. Соколов Р.С. Химическая технология / Р.С.Соколов. - М.: Центр Владос, 2000. – в 2 томах: Т.1, 368с. (10 экз.); Т.2, 448с.

9. http://techn.sstu.ru/new/SubjectFGOS/Default.aspx?kod=188

ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
Методические указания к практическим занятиям по

по дисциплине «Общая химическая технология»

для студентов
направления подготовки
*«18.03.01 Химическая технология»*

Составили: ЛЕВКИНА Наталья Леонидовна