

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

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

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине «Химические реакторы»

для студентов
направления подготовки
18.03.01 «Химическая технология»

Энгельс 2024

ВВЕДЕНИЕ

На современном химическом производстве чрезвычайно важна роль инженера-технолога, так как она заключается в управлении технологическим процессом путем регулирования его параметров для достижения 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 теплоэнергетического балансов.

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:

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

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	Δm
Итого:	m		m

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

$$H = \frac{m_{np} - m_{pac}}{m_{np}} \cdot 100\% ,$$

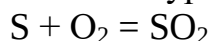
где m_{np} - сумма масс веществ вступивших в реакцию; m_{pac} - сумма масс веществ получившихся в ходе реакции.

Составление материальных балансов

Пример 1. 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



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

$$V_{N_2} = \frac{2500 \cdot 79}{21} = 9450 \text{ м}^3 \text{ или } \frac{9450 \cdot 28}{22,4} = 11800 \text{ кг}$$

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

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

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 2. 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.

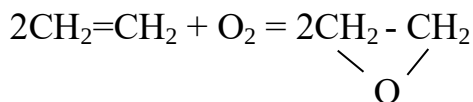
Решение

Окись этилена является одним из важнейших полупродуктов, имеющих широкое применение в различных синтезах - для получения этиленгликоля, 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 пропуске пропускании смеси воздуха с этиленом (нижний предел взрываемости этиленовоздушной смеси - 3,4% C₂H₄) на серебряном катализаторе при 250-280°C образуется окись этилена:



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

По уравнению реакции находим расход этилена на 1 т окиси этилена. Из 28 кг этилена образуется 44 кг C₂H₂O или расход C₂H₄ на 1000 кг окиси этилена составит:

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

С учетом степени окисления:

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

Объем воздуха в этиленовоздушной смеси составит

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

в том числе кислорода $33000 \cdot 0,21 = 6800 \text{ м}^3$ или

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

азота $33000 \cdot 0,79 = 26200 \text{ м}^3$ 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:

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

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 3. 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°C. 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:



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 м³. Парциальное давление паров воды при 30°C и относительной влажности 80% составит:

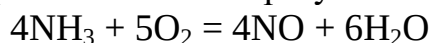
$$0,8 \cdot 4,22 \cdot 10^3 = 3,37 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

где 4,22 · 10³ Па давление насыщенного водяного пара при 30°C.

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



оксида азота

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

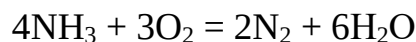
воды

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

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:



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:

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

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 ₂ O	14,5+468+84,5=567	706	19,1

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Материальный баланс на 1 т HNO₃

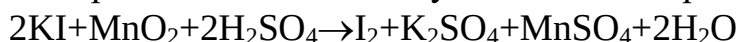
Приход			Расход		
исходное вещество	кг	м ³	продукт	кг	м ³

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 ₂ O	84,5	105	H ₂ O	567	706
Итого	4340,5		Итого	4339,8	

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задание 1.

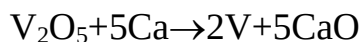
Составить материальный баланс получения йода по реакции:



если степень превращения иодида калия 85%, а 80%-ная H₂SO₄ берется с 10% избытком.

Задание 2.

Составить материальный баланс получения ванадия при 950°C по реакции:



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

Задание 3.

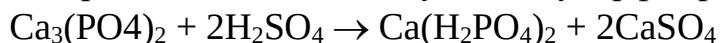
Составить материальный баланс получения аммиака по способу



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.

Задание 4.

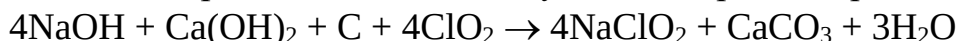
Составить материальный баланс получения суперфосфата



если известно, что воздушносухой фосфат кальция содержит 28% примесей, степень превращения - 80%, влажность - 8%; серная кислота концентрацией 88% берется с 25% избытком.

Задание 5.

Составить материальный баланс получения хлорита натрия

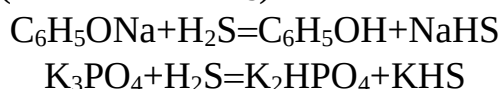


если известно, что едкий натр поступает в виде 84% раствора с избытком

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.

Задание 6.

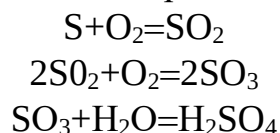
Составить материальный баланс очистки нефтепродуктов, содержащих 3,4% H_2S до содержания $\text{H}_2\text{S} = 0,3\%$ при помощи 1 т. смеси веществ, содержащей 16% этаноламина, 41% фенолята натрия и K_3PO_4 по реакциям:



считать, что реакции протекают полностью.

Задание 7.

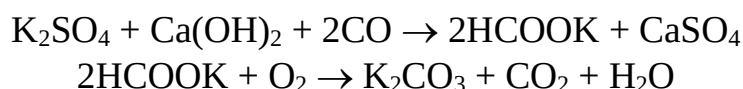
Составить материальный баланс производства H_2SO_4 по реакциям:



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

Задание 8.

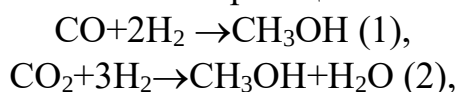
Составить материальный баланс процесса карбоната калия формиатным способом:



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.

Задание 9.

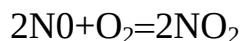
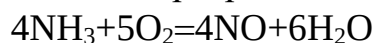
Составить материальный баланс производства метанола из 1000 м³ смеси CO и CO_2 в соотношении 3:1 по реакциям :



Степень превращения $\text{CO} = 62\%$; степень превращения $\text{CO}_2 = 93\%$; водород берется с 25% избытком от стехиометрически необходимого количества.

Задание 10.

Составить материальный баланс производства HNO_3 из $1000 \text{ м}^3 \text{ NH}_3$ (содержание примесей -8%, степень превращения - 48%) по реакциям:



для окисления используется кислород воздуха, избыток - 24%.

(состав воздуха: кислород -21%, азот - 79%)

Литература

1. 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. — 30 экз. — ISBN 978-5-7996-3240-3.

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