

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине «Технология минеральных удобрений»
для студентов
направления подготовки
18.03.01 Химическая технология
направленность (профиль) Технология химических производств

Невинномысск 2025

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Технология минеральных удобрений». Указания предназначены для студентов очной/заочной форм обучения направления подготовки 18.03.01 Химическая технология.

Содержат основные разделы изучаемого теоретического материала, перечень вопросов необходимых для проработки, а также список рекомендуемой литературы.

Составители

Содержание

Введение.....	4
Тема 1. Азотные удобрения.....	5
Практическое занятие 1. Материальный баланс производства аммиачной селитры.....	5
Практическое занятие 2. Материальный БАЛАНС СИНТЕЗА карбамида.....	10
Практическое занятие 3. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС СИНТЕЗА карбамида.....	15
Тема 2. Технология фосфорных удобрений.....	19
Практическое занятие 4. Расчет расхода серной кислоты, выхода суперфосфата и материального баланса процесса.....	19
Практическое занятие 5. Материальный баланс процесса получения ненейтрализованного двойного суперфосфата из неупаренной фосфорной кислоты.....	24
Тема 3. Технология калийных удобрений.....	30
Практическое занятие 6. ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРИДА КАЛИЯ.....	30
Практическое занятие 7. Производство фосфата аммония.....	33
Практическое занятие 8. Производство нитроаммофоски.....	38
Практическое занятие 9. Производство комплексных удобрений азотнокислотным разложением фосфатов.....	41
Практическое занятие 10. Производство нитрофоски азотно-сернокислотным способом. .	44

Введение

Дисциплина «Технология минеральных удобрений» относится к дисциплине части, формируемой участниками образовательных отношений. Она направлена на формирование профессиональных компетенций, обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Методические указания составлены на современном научном уровне и рассчитаны на студентов, по направлению 18.03.01 Химическая технология.

Последовательность тем соответствует логической структуре ее прохождения. Предлагаемые методические указания содержат материал, который рекомендуется использовать студентам при подготовке к практическим занятиям.

Для подготовки к практическим занятиям студент должен изучить материал по соответствующей теме, используя основную и дополнительную литературу, а так же используя периодические издания СМИ.

ТЕМА 1. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОИЗВОДСТВА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ

Цель занятия: приобретение основ составления материального баланса процесса

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	ПК-1 анализирует качество сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации	Пороговый уровень понимает основные направления переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
	ПК-1 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности

		переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
ПК-2 осуществляет выполнение экспериментов оформление результатов исследований разработок	ИД-2 и и	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование принципиальной и аппаратурно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
ПК-2 осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	ИД-3	Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса; Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентируемого качества из различного сырья при наименьших затратах;

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Материальный баланс отражает закон сохранения массы вещества: во всякой замкнутой системе масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, получившейся в результате реакции. Это означает, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию - приход, равна массе всех веществ, получившихся в результате ее, - расходу, или

$$\Sigma m_{\text{исх}} = \Sigma m_{\text{кон.}}$$

Таким образом, если в какой-либо аппарат или технологический узел поступает m_A кг продукта A , m_B кг продукта B и так далее, а в результате физической обработки или химической переработки получается m_C кг продукта C , m_D кг продукта D и так далее, а также если в конечных продуктах остается часть начальных продуктов A (m_A' кг), B (m_B' кг) и так далее, то при этом должно сохраниться равенство

$$m_A + m_B + \dots = m_C + m_D + \dots + m_A' + m_B' + \dots + \Delta m,$$

где Δm - производственные потери продукта.

Результаты подсчетов сводят обычно в табл. 1 материального баланса как по массе исходных веществ, так и продуктов реакции в целом и по отдельным химическим элементам.

Таблица 1 – Типовая таблица материального баланса

Приход		Расход	
Статья прихода	Количество, кг	Статья расхода	Количество, кг
Продукт A	m_A	Продукт A (остаток)	m_A'
Продукт B	m_B	Продукт B (остаток)	m_B'
		Продукт C	m_C
		Продукт D	m_D
		Производственные потери	Δm
<i>Итого</i>	m	<i>Итого</i>	m

Материальный баланс составляется (в зависимости от условий или задания) на единицу (1 кг, 1 кмоль), или на 100 единиц (100 кг и т.п.), или на 1000 единиц массы основного вида сырья или продукта. Материальный баланс обычно составляют при проектировании нового технологического процесса, а также при анализе уже существующего.

Производственный процесс получения аммиачной селитры (NH_4NO_3) складывается из стадий нейтрализации слабой азотной кислоты газообразным аммиаком, упарки полученного раствора и гранулирования аммиачной селитры. Стадия нейтрализации основана на реакции (н.у.):



Раствор аммиачной селитры получают в нейтрализаторе, позволяющем использовать тепло реакции для частичного выпаривания раствора. Он называется аппарат ИТН (использование тепла нейтрализации). Нейтрализацию проводят при 115–120 °С и некотором избыточном давлении (15–20 кПа) для того, чтобы образующийся в аппарате соковый пар можно было использовать как греющий агент. Обычно получаемые в аппаратах ИТН растворы аммиачной селитры, содержащие 60–80 % мас. NH_4NO_3 упаривают до состояния плава. Конечная концентрация плава зависит от способа кристаллизации. При кристаллизации в грануляционных башнях (башнях приллирования) раствор аммиачной селитры упаривают до содержания NH_4NO_3 98,0–98,5 % мас., а для получения селитры высокого качества до 99,5–99,8 % мас. NH_4NO_3 .

Плава поступает в грануляторы, расположенные в верхней части грануляционной башни, которые превращают его капли. В нижнюю часть гранбашни подается воздух, охлаждающий падающие сверху капли селитры. Высота полета капель 50–55 м. Во время падения капель при обтекании их потоком воздуха образуются гранулы (приллы) минерального удобрения. Кристаллизация начинается на поверхности капли, постепенно фронт кристаллизации проникает вглубь. Температура гранул на выходе из башни 90–110 °С; горячие гранулы затем охлаждают в аппарате кипящего слоя.

Вопросы и задания:

Пример 1

Рассчитать материальный баланс стадии нейтрализации в производстве аммиачной селитры.

Исходные данные:

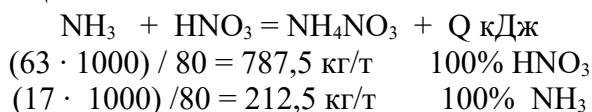
производительность установки..... 1360 т/сут;
концентрация азотной кислоты..... 56%(масс.);
концентрация газообразного аммиака.....100%
потери аммиака и азотной кислоты..... по 2кг/т

Решение

Часовая производительность установки:

$$1360 / 24 = 56,7 \text{ т/ч}$$

Теоретический расход аммиака и азотной кислоты на 1 т NH_4NO_3 определим из уравнения реакции нейтрализации:



где:

17, 63, 80 – молекулярные массы NH_3 , HNO_3 и NH_4NO_3 .

Расход аммиака и азотной кислоты с учетом потерь составит:

$$212,5 + 2 = 214,5 \text{ кг/т аммиака}$$
$$787,5 + 2 = 789,5 \text{ кг/т азотной кислоты.}$$

Часовой расход реагентов аммиака и азотной кислоты составит:

$$214,5 \cdot 56,7 = 12162,2 \text{ кг/ч аммиака}$$
$$789,5 \cdot 56,7 = 44764,7 \text{ кг/ч 100\% азотной кислоты.}$$

Фактический часовой расход 56%(масс.) азотной кислоты:

$$44764,7 / 0,56 = 79937 \text{ кг/ч}$$

В этом количестве кислоты содержится воды:

$$79937 - 44764,7 = 35172,3 \text{ кг/ч}$$

Таким образом, количество реагентов, поступающих в аппарат нейтрализации (ИТН) будет:

$$12162,2 + 79937 = 92099,2 \text{ кг/ч}$$

Без учета испарения воды (вследствие выделения тепла нейтрализации) концентрация раствора аммиачной селитры в аппарате была бы равна:

$$(56700 \cdot 100) / 92099,2 = 61,6 \% \text{ (масс.)}$$

С учетом использования тепла нейтрализации на испарение воды концентрация раствора аммиачной селитры, выходящего из аппарата, примем 90%. Количество 90%-ного раствора аммиачной селитры, выходящего из аппарата:

$$56700 / 0,90 = 63000 \text{ кг/ч}$$

В растворе содержится воды:

$$63000 - 56700 = 6300 \text{ кг/ч}$$

Следовательно, в процессе нейтрализации из раствора испаряется воды:

$$35172,3 - 6300 = 28872,3 \text{ кг/ч}$$

Результаты расчета сведем в таблицу материального баланса.

Таблица 1 – Материальный баланс стадии нейтрализации

Приход		Расход	
статья	Кг/ч	статья	Кг/ч
аммиак	12162,2	р-р 90% селитры	63000
кислота 100%	44764,7	пар	28872,3
вода с к-той	35172,3	потери	226,8
ИТОГО	92099,2	ИТОГО	92099,1

Задача 1

Составить расчет комбинированного выпарного аппарата в производстве аммиачной селитры.

Данные для расчета:

количество пульпы поступающей в выпарной аппарат кг/ч.....60000
концентрация пульпы %(масс.).....90
температура пульпы °С.....158
температура воздуха °С.....190
конечная концентрация%(масс.).....99,8
Недостающие данные принять из литературных источников.

Задача 2

Рассчитать стадию выпарки в производстве аммиачной селитры, с использованием комбинированного выпарного аппарата.

Данные для расчета:

количество пульпы поступающей в выпарной аппарат кг/ч... 50000
концентрация пульпы %(масс.).....91
температура пульпы °С.....160
температура воздуха °С.....190
конечная концентрация %(масс.).....99,8
Недостающие данные принять из литературных источников.

Задача 3

Рассчитать материальный баланс стадии нейтрализации в производстве аммиачной селитры. Определить расчетом концентрацию пульпы из ИТН. Расчет вести на 1 т аммиачной селитры.

Исходные данные:

концентрация азотной кислоты..... 56%(масс.)
концентрация газообразного аммиака..... 100%
температура азотной кислоты и аммиака.....50°С
потери тепла 3%
потери аммиака и азотной кислоты.....1,5кг/т

Повышенный уровень

Задача 1

Определить основные размеры аппарата ИТН, используя расчетные данные материального баланса предыдущих задач.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС СИНТЕЗА КАРБАМИДА

Цель занятия: приобретение основ составления материального баланса процесса

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать	ПК-1 анализирует ИД-1 качество	Пороговый уровень понимает основные направления

контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации	переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-2 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-3 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 ИД-1 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
	ПК-2 ИД-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование

	разработок	принципиальной и аппаратурно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
	ПК-2 ИД-3 осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса; Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентируемого качества из различного сырья при наименьших затратах;

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Синтез карбамида $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ из аммиака и оксида углерода (IV) протекает в две стадии.

В первой – происходит непосредственное соединение реагентов с образованием карбамата аммония:



Во второй стадии карбамат аммония отщепляет воду и превращается в карбамид:



Процесс протекает с образованием двух фаз: газообразной (NH_3 , CO_2 , H_2O) и жидкой, состоящей из расплавленных солей (карбамата аммония, карбамида, аммонийных солей и воды). Оксид углерода (IV), очищенный от примесей и серосодержащих соединений, сжатый до 20 МПа и жидкий аммиак под давлением 20 МПа поступают в смеситель при температуре 80–100 °С. В смесителе обеспечивается мольное отношение $\text{NH}_3:\text{CO}_2:\text{H}_2\text{O} = 4,5 : 1,0 : 0,5$. Из смесителя смесь, разогревшаяся за счет частичного образования карбамида до 175 °С, направляется в нижнюю часть колонны синтеза. В результате взаимодействия реагентов в колонне синтеза образуется плав, содержащий 34-35 % карбамида, 18-19 % карбамата аммония, 34-35 % аммиака и 10-11 % H_2O . Далее плав после дросселирования подается на дистилляцию, выпарку, гранулирование.

Вопросы и задания:

Пример 1

В схеме производства карбамида с полным жидкостным рециклом, часть непрореагировавшего аммиака и диоксида углерода возвращают на синтез в виде водных растворов углеаммонийных солей. Определить количество аммиака, диоксида углерода и воды, возвращаемых в цикл с раствором углеаммонийных солей (УАС). Расчет вести на 1 т карбамида.

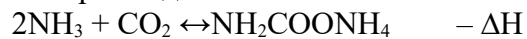
Содержание аммиака в водном растворе углеаммонийных солей, возвращаемых в цикл 40%.

Состав жидкого аммиака

(свежего и находящегося в циркуляции), %.....	99,8
Вода %.....	0,2
Давление в колонне синтеза, Па.....	$200 \cdot 10^5$
Температура, °C	200
Общие потери карбамида на стадиях, %.....	7
Мольное отношение $\text{NH}_3 : \text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O}$	4,5:1: 0,5
Степень конверсии карбамата аммония в карбамид, %.....	65

Решение

Основные реакции синтеза карбамида:



Стехиометрические количества аммиака и диоксида углерода составят:

$$\frac{2 \cdot 17 \cdot 1000}{60}$$

$$= 566,7 \text{ кг}$$

$$\frac{44 \cdot 1000}{60}$$

$$= 733,3 \text{ кг}$$

С учетом общих потерь необходимо получить 1070 кг карбамида. Расходуются следующие количества аммиака и диоксида углерода:

$$\frac{2 \cdot 17 \cdot 1070}{60}$$

$$= 606,3 \text{ кг}$$

$$\frac{44 \cdot 1070}{60}$$

$$= 784,7 \text{ кг}$$

С учетом степени превращения карбамата в карбамид и мольного соотношения компонентов, практический расход реагентов составит:

$$\frac{17 \cdot 4,5 \cdot 100}{60 \cdot 65}$$

$$1070 \cdot \frac{17 \cdot 4,5 \cdot 100}{60 \cdot 65} = 2098,9 \text{ кг аммиака}$$

$$\frac{44 \cdot 1 \cdot 100}{60 \cdot 65}$$

$$1070 \cdot \frac{44 \cdot 1 \cdot 100}{60 \cdot 65} = 1207,2 \text{ кг } \text{CO}_2$$

$$\frac{18 \cdot 0,5 \cdot 100}{60 \cdot 65}$$

$$1070 \cdot \frac{18 \cdot 0,5 \cdot 100}{60 \cdot 65} = 246,9 \text{ кг воды}$$

где:

4,5, 1 и 0,5 – коэффициенты, учитывающие мольные соотношения аммиака, диоксида углерода и воды;

65 – степень превращения карбамата аммония в карбамид, %.

Расчет количества аммиака, диоксида углерода и воды, возвращаемых в цикл с раствором углеаммонийных солей.

Обозначим процентное содержание NH_3 , CO_2 , H_2O в углеаммонийных солях (УАС) соответственно α , β , γ . Согласно исходным данным, $\alpha = 40\%$.

Состав раствора УАС определится по уравнениям:

$$m \text{CO}_2 = 1070 \frac{44 \cdot (1 - 0,65)}{60 \cdot 0,65} + 1000 \frac{44 \cdot 0,07}{60} \quad (1)$$

$$m \text{NH}_3 = m \text{CO}_2 \cdot \frac{\alpha}{\beta} \quad (2)$$

$$m \text{H}_2\text{O} = m \text{CO}_2 \cdot \frac{\gamma}{\beta} \quad (3)$$

Подставляя численные значения, получим:

$$m \text{CO}_2 = 473,8 \text{ кг}$$

$$\beta + \gamma = 1 - \alpha = 1 - 0,4 = 0,6$$

$$\gamma = 0,6 - \beta$$

Количество свежего и возвратного аммиака без учета, возвращаемого с УАС:

$$A1 = 2098,9 - m \text{NH}_3$$

Количество воды, вводимой со свежим и возвратным аммиаком:

$$B1 = (2098,9 - m \text{NH}_3) \frac{0,002}{1 - 0,002} = (2098,9 - m \text{CO}_2 \cdot \frac{\alpha}{\beta}) \frac{0,002}{1 - 0,002}$$

$$B1 = (2098,9 - 473,8 \cdot \frac{0,4}{\beta}) \frac{0,002}{1 - 0,002} = 4,2 - 0,4 \cdot \frac{1}{\beta}$$

Кроме того, количество воды, вводимой со свежим и возвратным аммиаком, можно определить из уравнения:

$$B1 = 246,9 - m \text{H}_2\text{O} = 246,9 - m \text{CO}_2 \cdot \frac{\gamma}{\beta} = 246,9 - 473,8 \cdot \frac{\gamma}{\beta}$$

$$\text{Ранее: } \gamma = 0,6 - \beta$$

$$4,2 - 0,4 \frac{1}{\beta} = 246,9 - 473,8 \cdot \frac{\gamma}{\beta}$$

$$4,2 - 0,4 \frac{1}{\beta} = 246,9 - 473,8 \cdot \frac{0,6 - \beta}{\beta}$$

Решая это уравнение, относительно β находим $\beta = 0,4$

$$\gamma = 0,6 - \beta = 0,6 - 0,4 = 0,2$$

Подставляя значения β и γ в уравнения (2) и (3), определяем количество аммиака и воды, поступающих с раствором УАС:

$$m \text{NH}_3 = m \text{CO}_2 \cdot \frac{\alpha}{\beta} = 473,8 \cdot \frac{0,4}{0,4} = 473,8 \text{ кг};$$

$$m \text{H}_2\text{O} = m \text{CO}_2 \cdot \frac{\gamma}{\beta} = 473,8 \cdot \frac{0,2}{0,4} = 236,9 \text{ кг}.$$

Всего поступает раствора углеаммонийных солей:

$$473,8 + 473,8 + 236,9 = 1184,5 \text{ кг}$$

Количество свежего и возвратного аммиака без учета NH_3 , возвращаемого с раствором УАС:

$$A1 = 2098,9 - m \text{ NH}_3 = 2098,9 - 473,8 = 1625,1 \text{ кг}$$

Количество воды, вводимой со свежим и возвратным аммиаком:

$$B1 = 4,2 - 0,4 \cdot \frac{1}{\beta} = 4,2 - 0,4 \cdot \frac{1}{0,4} = 4,2 \text{ кг}$$

Пример 2. Рассчитать материальный баланс колонны синтеза карбамида на 1 т продукта. Данные для расчета:

давление в колонне синтеза, Па..... $200 \cdot 10^5$

температура, °C190

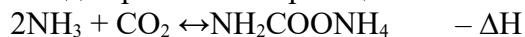
избыток аммиака сверх стехиометрического, %.....120

степень конверсии карбамата аммония в карбамид, %.....70

общие потери карбамида на стадиях, %.....5

Решение

Процесс синтеза карбамида протекает по реакциям:



Стехиометрические количества аммиака и диоксида углерода составят:

$$\frac{2 \cdot 17 \cdot 1000}{60} = 566,7 \text{ кг}$$

$$\frac{44 \cdot 1000}{60} = 733,3 \text{ кг}$$

С учетом общих потерь необходимо получить 1050 кг карбамида. Расходятся следующие количества аммиака и диоксида углерода:

$$\frac{2 \cdot 17 \cdot 1050}{60} = 595 \text{ кг}$$

$$\frac{44 \cdot 1050}{60} = 770 \text{ кг}$$

С учетом степени превращения карбамата в карбамид и заданного избытка аммиака и практический расход реагентов составит:

$$\frac{595 \cdot 2,25 \cdot 100}{70} = 1912,5 \text{ кг аммиака}$$

$$\frac{770 \cdot 100}{70} = 1100 \text{ кг CO}_2$$

В колонне образуется карбамата аммония:

$$(1100 \cdot 78) / 44 = 1950 \text{ кг}$$

из 1950 кг карбамата аммония образуется карбамида:

$$1950 \cdot \frac{60}{78} \cdot \frac{70}{100} = 1050 \text{ кг}$$

выделится воды:

$$1950 \cdot \frac{18}{78} \cdot \frac{70}{100} = 315 \text{ кг}$$

(78 г/моль – молекулярная масса карбамата аммония).

При степени превращения карбамата аммония в карбамид 70%, количество карбамата составит:

$$1950 \cdot \frac{100-70}{100} = 585,0 \text{ кг}$$

Определим количество аммиака, уходящего с продуктом реакции:
на образование карбамата аммония расходуется аммиака:

$$\frac{1950 \cdot 2 \cdot 17}{78} = 850 \text{ кг}$$

остается не прореагировавшего аммиака:

$$1912,5 - 850 = 1062,5 \text{ кг}$$

Выделившаяся вода взаимодействует с избыточным аммиаком, образуя:

NH_4OH , количество которого равно:

$$(315 \cdot 35) / 18 = 612,5 \text{ кг}$$

где:

35 и 18 – мольные массы NH_4OH и H_2O .

На образование 612,5 кг NH_4OH затрачивается аммиака:

$$(612,5 \cdot 17) / 35 = 297,5 \text{ кг}$$

Остается избыточного аммиака в газовой фазе:

$$1062,5 - 297,5 = 765 \text{ кг}$$

Таблица 1 – Материальный баланс синтеза карбамида

Приход	Расход
аммиак – 1912,5 кг	карбамид – 1050 кг
CO_2 – 1100кг	карбамат аммония– 585,0 кг
–	вода – 315кг
–	избыточный аммиак – 1062,5 кг
–	в виде NH_4OH – 297,5 кг
–	аммиак в газе – 765кг
Всего: 3012,5кг	Всего: 3012,5кг

Базовый уровень

Задача 1

Рассчитать материальный баланс колонны синтеза карбамида на часовую производительность. Данные для расчета:

производительность установки, т/год.....	450000
давление в колонне синтеза, Па.....	$200 \cdot 10^5$
температура, °С	190
мольное отношение NH_3 : CO_2 : H_2O	4,2:1:0,5
степень конверсии карбамата аммония в карбамид,%.....	70
общие потери карбамида на стадиях, %.....	6

Задача 2

Рассчитать практический расход реагентов в производстве карбамида из расчета на 1т

мольное отношение NH_3 : CO_2 : H_2O	4,5:1:0,5
степень превращения CO_2 , %.....	65

общие потери карбамида,5

Задача 3

Определить количество аммиака, диоксида углерода и воды, возвращаемых в цикл с раствором углеаммонийных солей (УАС), по схеме с полным жидкостным рециклом. Расчет вести на 57 т/ч карбамида.

Содержание аммиака в водном растворе углеаммонийных солей, возвращаемых в цикл 38%.

Давление в колонне синтеза, Па..... $200 \cdot 10^5$

Температура, °С200

Общие потери карбамида на стадиях, %.....6

Мольное отношение $\text{NH}_3 : \text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O}$3,5:1: 0,5

Степень конверсии карбамата аммония в карбамид,%.....66

Повышенный уровень

Задача 1

Сравнить технологические схемы производства карбамида применяемых в отечественной, современной химической промышленности. Указать на достоинства и недостатки, особенности используемой аппаратуры.

Задача 2

Дать сравнительную характеристику зарубежных технологических схем производства карбамида применяемых в современной химической промышленности. Указать на особенности рецикла реагентов в этих схемах.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Брянский, Б. Я. Лекции по химической термодинамике [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б. Я. Брянский. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Вузовское образование, 2017. — 118 с. — 978-5-4487-0036-1. — Режим доступа:

<http://www.iprbookshop.ru/66634.html>

2. Левенец, Т. В. Основы химических производств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т. В. Левенец, А. В. Горбунова, Т. А. Ткачева. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 122 с. — 978-5-7410-1292-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/54136.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Соловьева, Н. Ф. Жидкие удобрения и современные методы их применения [Электронный ресурс] : научное издание / Н. Ф. Соловьева. — Электрон. текстовые данные. — М. : Росинформагротех, 2010. — 76 с. — 978-5-7367-0746-1. — Режим доступа:

<http://www.iprbookshop.ru/15730.html>

2. Леонтьева, А. И. Оборудование химических производств. Часть 2 [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. И. Леонтьева. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012. — 281 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64133.html>

3. Справочник азотчика. Т1: Физико-химические свойства газов и жидкостей. Производство технологических газов. Очистка

технологических газов. Синтез аммиака./ Н.М.Жаворонков, И.М.Кисиль, В.М.Олевский. - 2-е изд., перераб. - М:Химия,1986. - 512с.:ил. - с494., экземпляров 1

4. Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : учебное пособие / Б. П. Кондауров, В. И. Александров, А. В. Артемов. – М : Академия, 2005. - 336 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование). - Рек. УМО. - Библиогр.: с. 328. - ISBN 5-7695-1792- 1, экземпляров 4

5. Производство аммиака/ под ред. В. П. Семенова. - М.:Химия,1985. - 368 с. - Библиогр.: с. 350. - Предм. указ.: с. 355, экземпляров 1

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

- 1 <http://window.edu.ru/> – единое окно доступа к образовательным ресурсам
- 2 <http://biblioclub.ru/> — ЭБС «Университетская библиотека онлайн».
- 3 <http://catalog.ncstu.ru/> — электронный каталог ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО
- 4 <http://www.iprbookshop.ru> — ЭБС.
- 5 <https://openedu.ru> – Открытое образование

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3. ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС СИНТЕЗА КАРБАМИДА

Цель занятия: приобретение основ составления теплового баланса процесса

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	ПК-1 ИД-1 анализирует качество сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации	Пороговый уровень понимает основные направления переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-2 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень

		исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции	ИД-3 Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	ИД-1 Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
	ПК-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	ИД-2 Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование принципиальной и аппаратно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
	ПК-2 осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	ИД-3 Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса; Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа

		различных технологических траекторий получения продукции регламентируемого качества из различного сырья при наименьших затратах;
--	--	--

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Энергетический (тепловой) баланс любого аппарата может быть представлен в виде уравнения, связывающего приход и расход тепла процесса (аппарата). Энергетический баланс составляется на основе закона сохранения энергии, в соответствии с которым полная энергия изолированной системы есть величина постоянная. Обычно, для химических процессов составляется тепловой баланс, уравнение которого задается выражением:

$$\Sigma Q_{\text{приход}} = \Sigma Q_{\text{расход}}.$$

Применительно к тепловому балансу закон сохранения энергии формулируется следующим образом: приход теплоты в данном аппарате (или производственной операции) должен быть равен расходу теплоты в том же аппарате (или операции). Для аппаратов (процессов) непрерывного действия тепловой баланс составляют на единицу времени, а для аппаратов (процессов) периодического действия – на время цикла (или отдельного периода) обработки. Тепловой баланс рассчитывают по данным материального баланса с учетом тепловых эффектов химических реакций (экзотермических и эндотермических) и физических превращений (испарение, конденсация и т.п.), происходящих в аппарате с учетом подвода теплоты извне и отвода ее с продуктами реакции, а также через стенки аппарата. Тепловой баланс, подобно материальному, выражают в виде таблиц, схем или диаграмм. В приходные статьи теплового баланса, как правило, входят: физическая теплота, вносимая нагретыми веществами; теплота, развиваемая экзотермическими процессами; теплота, поступающая извне. В расходные статьи входят: физическая теплота, уносимая продуктами реакции; теплота, поглощаемая в эндотермических процессах (десорбция газов, парообразование, плавление, растворение); потери теплоты в окружающую среду. В общем случае уравнение теплового баланса для определенного аппарата или узла технологического процесса имеет следующие составляющие:

$$Q_{\text{исх}} = C_A \cdot m_A \cdot (T_A - T_0); \quad (1)$$

$$Q_{\text{исх}} = i_A \cdot m_A; \quad (2)$$

$$Q_{\text{x.p}} = Q_T \cdot X_A \cdot n_A; \quad (3)$$

$$Q_{\text{прод}} = C_R \cdot m_R \cdot (T_R - T_0); \quad (4)$$

$$Q_{\text{прод}} = i_R \cdot m_R, \quad (5)$$

где $Q_{\text{исх}}$ – теплота, вносимая реагентами, кДж; $Q_{\text{x.p}}$ – теплота, поступающая (или отводимая) при протекании химической реакции, кДж; $Q_{\text{прод}}$ – теплота, уносимая продуктами реакции, кДж; Q_T – тепловой эффект реакции, кДж/моль; X_A – степень превращения исходного реагента; n_A – количество вещества реагентов, моль; m_A , m_R – массы входящих реагентов и выходящих продуктов, кг; i_A , i_R – энтальпия входящих реагентов и выходящих продуктов, кДж/кг; C_A , C_R – теплоемкость исходных веществ или продуктов, Дж/(кг·К) или Дж/(м³·К); T_0 – температура начала отсчета энтальпии, °С (при расчетах в

химико-технологических процессах часто температурой начала отсчета энтальпии является 0 °С); T_A и T_R – температуры реагентов и продуктов соответственно, °С.

Теплоемкости газов, участвующих в процессе, для данной температуры рассчитывают по уравнению (коэффициенты a_0 , a_1 , a_2 – приведены в справочниках): $C = a_0 + a_1T + a_2T^2$.

(6) Если приходится иметь дело со смесями веществ, то необходимо знать теплоемкость смеси, которая вычисляется по закону аддитивности. Так, для смеси трех веществ в количестве G_1 , G_2 и G_3 , имеющих теплоемкости C_1 , C_2 и C_3 , теплоемкость находят по формуле:

$$C_{\text{смеси}} = \frac{G_1 C_1 + G_2 C_2 + G_3 C_3}{G_1 + G_2 + G_3} = \omega(1) \cdot C_1 + \omega(2) \cdot C_2 + \omega(3) \cdot C_3, \quad (7)$$

где $\omega(n)$ – массовые доли компонентов смеси.

Вопросы и задания:

Пример 1

Рассчитать суммарный приход тепла процесса синтеза карбамида с учетом данных предыдущей задачи. Температура реагентов, поступающих в колонну синтеза: жидкого аммиака 105°С, диоксида углерода 35°С. Температура в колонне синтеза 200°С.

Решение

Количество теплоты, поступающей с реагентами:

с диоксидом углерода:

$$Q_1 = 1100 \cdot 1,026 \cdot 35 = 39501 \text{ кДж}$$

где:

$C_p = 1,026$ – теплоемкость CO_2 , рассчитанная как $C_p = a + bT + cT^2$, кДж/кг·К;

с жидким аммиаком:

$$Q_2 = 1912,5 \cdot 553,1 = 1\,057\,803 \text{ кДж}$$

где:

553,1 – энтальпия жидкого аммиака кДж/кг.

Теплота образования карбамата аммония:

$$Q_3 = \frac{1950}{78} (159350 - 77456) = 2047350 \text{ кДж}$$

где:

159350 – тепловой эффект реакции образования твердого карбамата аммония из газообразного аммиака и диоксида углерода, кДж/кмоль;

77456 – теплота плавления карбамата аммония, кДж/кмоль.

Теплота образования NH_4OH :

$$Q_4 = \frac{612,5 \cdot 10626}{35} = 185955 \text{ кДж.}$$

где:

10626 – тепловой эффект образования NH_4OH , кДж/кмоль.

Суммарный приход теплоты:

$$Q_{\text{прих.}} = 39501 + 1\,057\,803 + 2047350 + 185955 = 3330609 \text{ кДж.}$$

Базовый уровень

Задача 4

Рассчитать тепловой баланс колонны синтеза карбамида из расчета на часовую производительность. Данные для расчета:

производительность установки, т/год.....450000
 давление в колонне синтеза, Па..... $200 \cdot 10^5$
 температура, °C190
 мольное отношение $\text{NH}_3 : \text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O}$3,9:1:0,5
 степень конверсии карбамата аммония в карбамид,%.....69
 общие потери карбамида на стадиях, %.....5
 Недостающие данные принять из литературных источников.

Повышенный уровень

Составить тепловой расчёт колонны синтеза мочевины для условий, приведенных в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Данные для расчета

Данные для расчета	ВАРИАНТ				
	I	II	III	IV	V
Абсолютное давление в колонне синтеза, МПа	19,0	18,0	20,0	21,0	19,5
Температура в колонне синтеза, °C	200	195	180	190	185
Температура аммиака, поступающего в колонну синтеза, °C	100	95	90	85	80
Температура CO_2 , поступающего в колонну синтеза, °C	30	28	32	30	30
Исходный газ содержит, % мас. CO_2 N_2	98 2	94 6	96 4	95 5	97 3
Избыток NH_3 составляет от стехиометрического количества, %	130	150	170	230	200
Степень превращения карбамата аммония в мочевины %;	80	87	75	85	82
Потери мочевины при дистилляции и упаривании, %;	7	7,5	5	6	8
Критическая температура аммиака, °C	132,9	132,9	132,9	132,9	132,9
Энтальпия жидкого аммиака при 132,9 °C, кДж/кг	939,9	939,9	939,9	939,9	939,9
Энтальпия жидкого аммиака при температуре подачи в колонну, кДж/кг	549,2	524,4	469,6	414,8	360,0
Расчёт составить на массу мочевины в виде готового сухого продукта, кг	1000	500	1500	500	1000

ТЕМА 2. ТЕХНОЛОГИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4. РАСЧЕТ РАСХОДА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ, ВЫХОДА СУПЕРФОСФАТА И МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОЦЕССА

Цель занятия: изучение основ химико-технологических расчетов

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать	ПК-1 ИД-1 анализирует качество	Пороговый уровень понимает основные направления

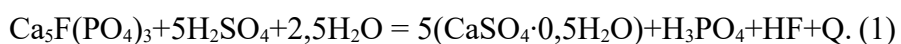
контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации	переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-2 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-3 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 ИД-1 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
	ПК-2 ИД-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование

	разработок	принципиальной и аппаратурно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
	ПК-2 ИД-3 осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	<p>Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса;</p> <p>Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентируемого качества из различного сырья при наименьших затратах;</p>

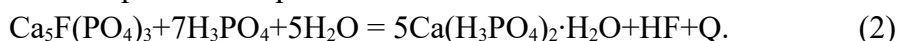
Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

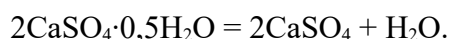
Процесс получения простого суперфосфата $\text{Ca}(\text{H}_3\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$ при взаимодействии серной кислоты с кальцийфторапатитом $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ является многофазным гетерогенным процессом. Первый этап – диффузия серной кислоты к частицам апатита – характеризуется быстрой химической реакцией на поверхности частиц апатита, которая идет до полного израсходования кислоты:



Второй этап – перераспределение образовавшейся фосфорной кислоты в порах неразложившихся частиц апатита и протекание реакции:



Реакция (1) начинается сразу же после смешения и заканчивается в реакционной суперфосфатной камере в течение 20-40 мин в период схватывания и затвердения суперфосфатной массы, которые происходят за счет сравнительно быстрой кристаллизации малорастворимого сульфата кальция и перекристаллизации полугидрата в ангидрит по уравнению реакции:



Созревание суперфосфата, то есть образование (реакция (2) и кристаллизация монокальцийфосфата, происходит медленно и заканчивается лишь на складе (дозревание) при вылеживании суперфосфата в течение 6-25 сут. Низкая скорость этой стадии

объясняется замедленной диффузией фосфорной кислоты через образовавшуюся корку монокальцийфосфата, покрывающую зерна апатита, и крайне медленной кристаллизацией новой твердой фазы $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Вопросы и задания:

Пример 1. Рассчитать расход серной кислоты, выход камерного и складского суперфосфата и составить материальный баланс процесса на 100 кг апатитового концентрата $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$.

Исходные данные:

- применяется для разложения апатита раствор серной кислоты с содержанием H_2SO_4 67 % мас.;
- на завод поступает башенная серная кислота, содержащая 75 % мас. H_2SO_4 ;
- камерный суперфосфат содержит 19 % общего P_2O_5 ; 16 % усвояемого P_2O_5 и 13 % мас. воды;
- вызревший на складе суперфосфат содержит 20 % P_2O_5 (общ); 17 % P_2O_5 (усв); 11 % мас. воды;
- содержание P_2O_5 в апатитовом концентрате 38 %;
- норма серной кислоты (100 % мас.) 68 кг на 100 кг апатита.

Решение

Определим количество башенной серной кислоты (75 % мас. H_2SO_4) и воды для её разбавления до содержания H_2SO_4 67 % мас.

Расход серной кислоты (кг) с содержанием H_2SO_4 α % при норме её n мас.ч. на 100 мас.ч. фосфата равен:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n}{\alpha} \cdot 100,$$

$$m_{75\%}(\text{H}_2\text{SO}_4) = (68 \cdot 100) / 75 = 90,67 \text{ кг};$$

$$m_{67\%}(\text{H}_2\text{SO}_4) = (68 \cdot 100) / 67 = 101,49 \text{ кг}.$$

Расход воды на разбавление башенной кислоты $m(\text{H}_2\text{O})$:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{67\%}(\text{H}_2\text{SO}_4) - m_{75\%}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 101,49 - 90,67 = 10,82 \text{ кг}.$$

Общее количество введенных материалов:

$$m_{\text{вход}} = m(\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3) + m_{75\%}(\text{H}_2\text{SO}_4) + m(\text{H}_2\text{O}) = 100 + 90,67 + 10,82 = 201,49 \text{ кг}.$$

Массу полученного суперфосфата определим по формуле:

$$m(\text{суперфосфата}) = \frac{\omega_{\text{ф}}}{\omega_{\text{с}}} \cdot 100,$$

где $\omega_{\text{ф}}$ и $\omega_{\text{с}}$ – содержание общего P_2O_5 в исходном апатитовом концентрате и в полученном суперфосфате соответственно;

$$m_{\text{камерного}}(\text{суперфосфата}) = (38 \cdot 100) / 19 = 200 \text{ кг};$$

$$m_{\text{складского}}(\text{суперфосфата}) = (38 \cdot 100) / 20 = 190 \text{ кг}.$$

Разница между $m_{\text{вход}}$ и $m_{\text{камерного}}(\text{суперфосфата})$ позволит нам определить количество газов и паров, выделившихся в смесителе, а разница $m_{\text{камерного}}(\text{суперфосфата}) - m_{\text{складского}}(\text{суперфосфата})$ – массу выделившихся на складе паров воды:

$$m_{\text{вход}} - m_{\text{камерного}}(\text{суперфосфата}) = 201,49 - 200 = 1,49 \text{ кг};$$

$$m_{\text{камерного}}(\text{суперфосфата}) - m_{\text{складского}}(\text{суперфосфата}) = 200 - 190 = 10 \text{ кг}.$$

Таблица 1 Материальный баланс производства простого суперфосфата

Приход	кг	Расход	кг
Апатит	100,00	Складской простой суперфосфат	190
H ₂ SO ₄ башенная	90,67	Газы и пары, выделившиеся в камере и смесителе	1,49
вода	10,82	Пары воды, выделившиеся на складе	10
<i>Всего</i>	201,49	<i>Всего</i>	201,49

Базовый уровень

Задание 1. Рассчитать расход серной кислоты, выход камерного и складского суперфосфата, составить материальный баланс процесса получения простого суперфосфата. Исходные данные приведены в табл. 2.

Остальные данные, необходимые для расчета, но не представленные в табл. 2, следует взять из примера 1.

Таблица 2

Данные для расчета	ВАРИАНТ				
	I	II	III	IV	V
Массовая доля серной кислоты, применяемой для разложения апатита, %	67	70	65	68	72
Массовая доля исходной башенной серной кислоты, %	78	75	75	77	76
Камерный суперфосфат содержит общего P ₂ O ₅ , %	19	20	21	22	23
усвояемого P ₂ O ₅ , %	16	18	17	19	15
воды, % мас.	13	10	12	13	13
Вызревший на складе суперфосфат содержит общего P ₂ O ₅ , %	21	20,5	20	19	20
усвояемого P ₂ O ₅ , %	19	18	17	17	17
воды, % мас.	10	11	11	11	12
Содержание P ₂ O ₅ в апатитовом концентрате, %	38	39	38,5	39,4	38
Норма серной кислоты (100 % мас. H ₂ SO ₄), кг/100 кг апатита	68	69	70	72	68

Задание 2. Апатитовый концентрат имеет следующий состав, %:

Ca₃(PO₄)₂ - 86; Fe₂O₃ - 0,63; K₂O - 0,23; CaF₂ - 6,2; Al₂O₃ - 0,9; SiO₂ - 1,11; MgO - 0,19; Na₂O - 0,63; Влага - 0,35; нерастворимы в кислоте остаток - 3,96

Подсчитать расход серной кислоты (моногидрата) и количество воды (без учета гигроскопической влаги), необходимые для разложения 100 кг апатитового концентрата, если коэффициент разложения всех его составных частей равен 95%.

Задание 3. Определить: расходные коэффициенты для сырья, часовой расход материалов и количество выделяющихся газов при производстве 1 млн. т. в год простого суперфосфата из апатитового концентрата.

Исходные данные:

apatитовый концентрат содержит 39,4% P₂O₅ (в расчете на сухое вещество) и 1% H₂O;

концентрация серной кислоты 76%; для варки суперфосфата применяется 68%-ная кислота;

норма кислоты 68 кг моногидрата на 100 кг апатитового концентрата;

камерный суперфосфат содержит 20,8% P₂O₅_{общ}; 17,6% P₂O₅_{сыв} и 11 % P₂O₅. Готовый (экспедиционный) суперфосфат содержит 21% P₂O₅_{общ};

съем кремнефтористоводородной кислоты, по заводским данным, составляет 7,1 кг (в расчете на 100% H₂SiO₆) на 1000 кг суперфосфата.

За основание расчета берем 100 кг апатитового концентрата.

Повышенный уровень

Задание 1. Материальный баланс производства суперфосфата на 100 кг апатитового концентрата таков:

Приход		кг	Расход		кг
апатит	.....	100	газы и пары, выделяющиеся при разложении апатита	..	10,6
92,5%-ная H_2SO_4	.....	73,5	пары воды, выделяющиеся на складе	.....	1,8
вода для разбавления	.....	26,5	товарный суперфосфат	.....	187,6
Всего		200	Всего		200

Подсчитать расходные коэффициенты для серной кислоты и фосфатного сырья на 1000 кг стандартного суперфосфата и 1000 кг P_2O_5 а стандартный 18,7%.

Задание 2. Определить коэффициент разложения сырья и выход камерного суперфосфата на 1000 кг сырья, если в суперфосфате содержится 21,4% P_2O_5 . и 20,3% CaO_5 , а в сырье 39,4% P_2O_5 .

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НЕНЕЙТРАЛИЗОВАННОГО ДВОЙНОГО СУПЕРФОСФАТА ИЗ НЕУПАРЕННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

Цель занятия: изучение основ химико-технологических расчетов

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: технологический процесс в соответствии с регламентом и технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции; конкретные технические решения при разработке технологических процессов;

Уметь: осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции; обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов;

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка		
ПК-1	способностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции		
ПК-5	Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
	ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	ПК-1 ИД-1 анализирует качество сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие	Пороговый уровень понимает основные направления переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень

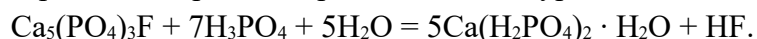
		требованиям нормативной документации	понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
		ПК-1 ИД-2 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
		ПК-1 ИД-3 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-2 Способен организовать проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 ИД-1 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
		ПК-2 ИД-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование

			принципиальной и аппаратурно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
	ПК-2 осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	ИД-3	Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса; Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентируемого качества из различного сырья при наименьших затратах;
готовностью обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов; выбирать технические средства и технологии, направленные на минимизацию антропогенного воздействия на окружающую среду			

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

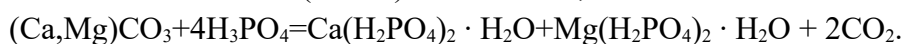
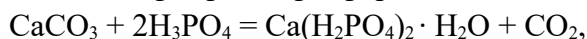
Двойной суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ получают фосфорно-кислотным разложением природных фосфатов (рис. 1). Разложение фосфатов ортофосфорной кислотой представляет собой гетерогенный необратимый процесс, протекающий по уравнению:



В этом процессе ортофосфорная кислота является не только реагентом кислотного разложения, но и носителем фосфора, что обеспечивает получение продукта с высоким содержанием усвояемого P_2O_5 . Процесс взаимодействия ортофосфорной кислоты с трикальцийфосфатом протекает в две стадии. На первой стадии компоненты реагируют в подвижной суспензии, жидкая фаза которой содержит фосфорную кислоту, монокальцийфосфат и другие растворимые продукты реакции. Эта стадия, идущая сначала с высокой скоростью, замедляется по мере нейтрализации кислоты и заканчивается при насыщении жидкой фазы фосфатами кальция. Продолжительность этой стадии зависит от организации технологического процесса и типа аппаратуры и колеблется от секунд до нескольких часов. На второй стадии происходит кристаллизация монокальцийфосфата

(дигидрофосфата кальция), приводящая к изменению состава жидкой и твердой фаз реакционной смеси.

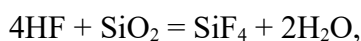
Высокая степень разложения фосфата на первой стадии может быть достигнута лишь при определенной концентрации фосфорной кислоты, равной 30-40 % P₂O₅. На второй стадии, которая является определяющей для процесса разложения фосфата в целом, наибольшая скорость разложения достигается в растворах, содержащих около 45 % P₂O₅. С учетом этих требований выбирается технологический режим производства суперфосфата. При разложении фосфатов фосфорной кислотой происходят также следующие реакции:



Оксиды железа и алюминия образуют средние фосфаты:



Выделяющийся фтороводород взаимодействует с диоксидом кремния с образованием H₂SiF₆ и SiF₄:



SiF₄ + 2HF = H₂SiF₆. Кремнефтористоводородная кислота превращается в малорастворимые кремнефториды кальция, натрия и калия, а тетрафторид кремния частично выделяется в газообразном состоянии. Причем степень его выделения возрастает с повышением температуры и концентрации P₂O₅ в жидкой фазе.

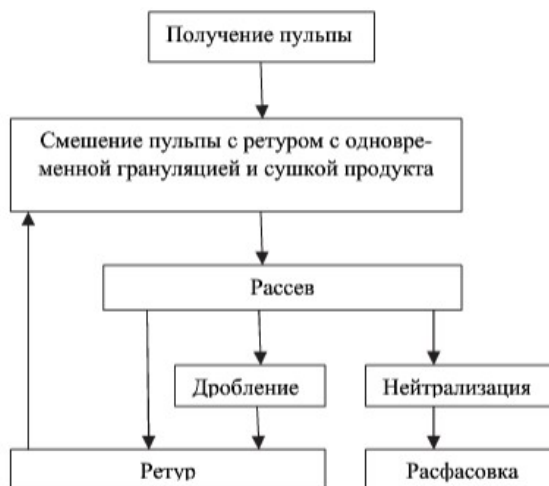
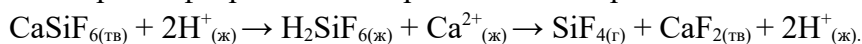


Рис.1. Получение двойного суперфосфата из неупаренной фосфорной кислоты поточным способом

Протекание основных реакций сопровождается возрастанием температуры, а следовательно, и парциального давления паров SiF₄. В процессе сушки при температуре более 70 °С кремнефторид кальция разлагается по реакции:



При взаимодействии апатитового концентрата с неупаренной фосфорной кислотой (25-32 % P₂O₅) степень разложения его невелика.

Поэтому апатитовый концентрат применяют только как первичный фосфат для производства кислоты. Для получения же двойного суперфосфата (вторая фаза) используют легко разложимый фосфорит. На рис. 1 приведены основные стадии процесса производства двойного суперфосфата поточным способом с применением неупаренной фосфорной кислоты. Наличие в реакционной массе значительного количества воды обуславливает необходимость ее выпаривания. Процесс состоит из следующих стадий: получение пульпы -

смешение фосфорита с нейпаренной фосфорной кислотой; соединение пульпы с ретуром, высушивание и грануляция массы; рассев, дробление крупной фракции и нейтрализация товарного продукта.

Вопросы и задания:

Пример 1. Составить материальный баланс процесса получения ненейтрализованного двойного суперфосфата из неупаренной фосфорной кислоты (поточным способом). Расчет составить на 100 кг вторичного фосфата.

Исходные данные:

- в качестве вторичного фосфата используют фосфорит, содержащий 21,6 % P_2O_5 , 2,15 % фтора, 4,25 % CO_2 ;
- применяется экстракционная фосфорная кислота (32 % P_2O_5);
- содержание фтора в фосфорной кислоте 1,92 %;
- концентрация гипса в фосфорной кислоте 5,6 г/кг H_3PO_4 ;
- на 100 кг фосфоритной муки расходуется 75 кг P_2O_5 , содержащегося в фосфорной кислоте;
- выход ненейтрализованного суперфосфата на 100 кг фосфорит-ной муки составляет 210 кг (без учета золы, вносимой топливом при сушке, и гипса, содержащегося в фосфорной кислоте);
- отношение ретура к ненейтрализованному продукту 4:1;
- степень выделения в газовую фазу фтора 22 %, CO_2 – 100 %, испаряется воды при смешении 1,7 кг на 100 кг фосфорита;
- гранулометрический состав продукта: частиц размером < 1 мм – 13 %; > 4 мм – 34 %; 1-4 мм – 53 %.
- количество золы, вносимой в продукт при сушке, составляет 2,59 кг на 100 кг фосфорита.

Решение

Получение пульпы

Определим количество фосфорной кислоты, необходимой для реакции по формуле:

$$m_{32\%}(H_3PO_4) = \frac{n}{\alpha} \cdot 100 = \frac{75}{32} \cdot 100 = 234,4 \text{ кг.}$$

Исходная кислота содержит $234,4 \cdot 0,0056 = 1,3$ кг гипса.

Следовательно, необходимая масса кислоты $234,4 + 1,3 = 235,7$ кг.

Всего поступает реагентов в смеситель (фосфорной кислоты и фосфата):

$$m_{\text{вход}} = m_{32\%}(H_3PO_4) + m(Ca_5F(PO_4)_3) = 235,7 + 100 = 335,7 \text{ кг.}$$

При взаимодействии фосфорной кислоты с фосфоритом испаряется 1,7 кг воды и выделяется 4,25 кг оксида углерода (IV).

Найдем количество пульпы, полученной при смешении реагентов и поступающей на соединение с ретуром:

$$m_{(\text{пульпы})} = m_{32\%}(H_3PO_4) + m(Ca_5F(PO_4)_3) - m(H_2O) - m(CO_2) = 235,7 + 100 - 1,7 - 4,25 = 329,8 \text{ кг.}$$

Смешение пульпы с ретуром и сушка. Определим количество фтора, выделяющегося при сушке:

$$m_F = (m_F^{\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3} \cdot \omega_F^{\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3} + m_F^{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot \omega_F^{\text{H}_3\text{PO}_4}) \cdot 0,22 =$$

$$= (234,4 \cdot 0,0192 + 100 \cdot 0,0215) \cdot 0,22 = 1,46 \text{ кг.}$$

Фтор выделяется в виде SiF_4 . Применяя формулы

$$\omega_F^{\text{SiF}_4} = \frac{m_F}{m(\text{SiF}_4)} \text{ и } \omega_F^{\text{SiF}_4} = \frac{4 \cdot \text{Ar}(F)}{\text{Mr}(\text{SiF}_4)},$$

можно показать, что 1,46 кг фтора будут содержаться в 2 кг SiF_4 .

Выход готового продукта с учетом гипса, содержащегося в кислоте, будет складываться из выхода суперфосфата (см. условие) и количества гипса, поступающего с фосфорной кислотой:

$$m(\text{продукта}) = 210 + 1,3 = 211,3 \text{ кг.}$$

В процессе сушки выделяется воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{пульпы}) - m(\text{продукта}) - m(\text{SiF}_4) = 329,8 - 211,3 - 2,0 = 116,5 \text{ кг или } 145 \text{ м}^3.$$

Определим количество ретура, подаваемого на смешение с пульпой:

$$m(\text{ретура}) = m(\text{продукта}) \cdot 4 = 211,3 \cdot 4 = 845,2 \text{ кг}$$

Общее количество материала, подаваемого в смеситель-гранулятор:

$$m(\text{вход}) = m(\text{пульпы}) + m(\text{ретура}) = 329,8 + 845,2 = 1175,0 \text{ кг.}$$

Количество материала, выходящего из сушильного барабана:

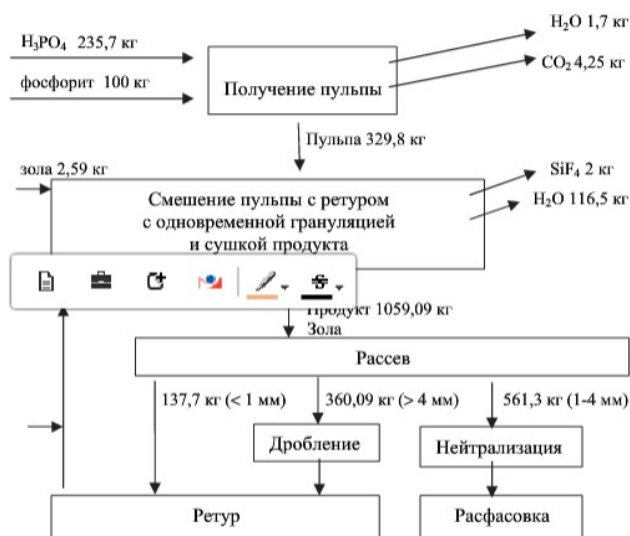
$$m(\text{продукта}) + m(\text{ретура}) + m(\text{зола}) = 211,3 + 845,2 + 2,59 = 1059,09 \text{ кг.}$$

Рассев

Зная гранулометрический состав продукта, определим содержание отдельных фракций в материале после отсева:

$$m(\text{частиц } > 4 \text{ мм}) = 1059,09 \cdot 0,34 = 360,09 \text{ кг;}$$

$$m(\text{частиц } 1-4 \text{ мм}) = 1059,09 \cdot 0,53 = 561,32 \text{ кг; } m(\text{частиц } < 1 \text{ мм}) = 1059,09 \cdot 0,13 = 137,68 \text{ кг.}$$



Материальный баланс производства ненейтрализованного двойного суперфосфата

Приход	кг	%	Расход	кг	%
Фосфорит	100,00	20,0	Вода	118,2	9,9
H_3PO_4	235,70	8,4	CO_2	4,25	0,4
Зола	2,59	0,2	SiF_4	2,00	0,2
Ретур	845,20	71,4	Продукт (в т.ч. зола)	1059,09	89,5
<i>Всего</i>	<i>1183,49</i>	<i>100,0</i>	<i>Всего</i>	<i>1183,54</i>	<i>100,0</i>

Базовый уровень

Задание 1.

По данным таблицы составить материальный баланс процесса получения ненейтрализованного двойного суперфосфата из не-упаренной фосфорной кислоты поточным способом.

Остальные данные, необходимые для расчета, но не представленные в таблице, следует взять из примера 1.

Данные для расчета	ВАРИАНТ				
	I	II	III	IV	V
В исходном фосфорите содержится					
P ₂ O ₅ , %	24	23	22	20	25
фтор, %	3	2	2,5	2	3
CO ₂ , %	4,3	4	4,5	4	5
В фосфорной кислоте содержится					
P ₂ O ₅ , %	32	30	28	29	31
фтор, %	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7
гипс, г/кг H ₃ PO ₄	5,6	5,8	5,5	6,0	6,2
Содержание фтора в фосфате, %	3	3	2	2	2,5
Выделение фтора в газовую фазу, % от общего его количества	12	13	17	16	15
На 100 кг фосфоритной муки расходуется P ₂ O ₅ , содержащегося в фосфорной кислоте, кг	75	73	74	75	73
Выход ненейтрализованного суперфосфата на 100 кг фосфоритной муки составляет (без учета золы и гипса), кг	200	215	205	200	210
Отношение ретур : продукт	5:1	3,5:1	4:1	3:1	6:1
Степень выделения в газовую фазу фтора, %	20	21	22	20	21
CO ₂ , %	100	100	100	100	100
Испаряется воды при смешении, кг/100 кг фосфорита	1,8	1,9	2,0	1,7	1,6
Гранулометрический состав продукта, частицы размером < 1 мм, %	13	17	14	16	15
частицы размером 1 - 4 мм, %	53	48	52	50	50
частицы размером > 4 мм, %	34	35	34	34	35
Расчет провести на массу вторичного фосфата, кг	100	200	500	100	500
Количество золы, вносимой в продукт при сушке, кг / 100 кг фосфорита	2,3	2,5	2,4	2,6	2,5

Задание 2. На сколько процентов увеличится теоретическая степень разложения апатита, если 10% (масс, или мол.) H₃PO₄ в производстве двойного суперфосфата заменить на H₂SO₄. Первоначальное количество фосфорной кислоты соответствует стехиометрической норме по реакции образования монокальцийфосфата. Концентрация фосфорной кислоты равна 54% P₂O₅. Температура в камере 100 °С. Теоретическая степень разложения апатита фосфорной кислотой в заданных условиях равна 83%

Задание 3. Определить расход фосфорной кислоты, необходимой для разложения 100 кг фосфата, содержащего 26% P₂O₅, 41,8% CaO, 5,08% Me₂O₃. Концентрация в кислоте первого иона водорода (определенная титрованием с диметилгельбом) равна 0,712%.

Повышенный уровень

Задание 1. Рассчитать количество CaO, связанной в виде фторапатита и доломита в фосфорите Каратау, содержащем 27,5% - P₂O₅, 2,5% - фтора, 43,5% - CaO и 3,6% - MgO. (Можно допустить, что вся окись магния находится в форме доломита, и не учитывать MgO, содержащуюся в виде силикатов) Фторапатит Ca₁₀F₂(PO₄)₆ можно представить в виде 3Ca₃(PO₄)₂*CaF₂, а трехкальциевый фосфат Ca₃(PO₄)₂- в виде 3CaO*P₂O₅.

Задание 2.

Составить баланс получения двойного суперфосфата камерным способом.

Исходные данные: применяется упаренная кислота (54% P₂O₅); на 1000 кг продукта расходуется фосфорной кислоты 366,7 кг (в пересчете на P₂O₅); 349,1 кг апатитового концентрата и 3 кг добавляемого к нему известняка (95% CaCO₃); содержание фтора в фосфорной кислоте равно 0,3%; в апатитовом концентрате 3%; выделение фтора в газовую

фазу составляет 15% от общего его количества; в камерном процессе выделяется 2 кг водяного пара; при дообработке суперфосфата на 100 кг апатита выделяется 1,5 кг H₂O; степень разложения апатита 80%. Продукт нейтрализуют известняком (95% CaCO₃) до содержания 1% свободной P₂O₅; степень использования известняка 70%. Расчет ведем применительно к 100 кг апатитового концентрата.

ТЕМА 3. ТЕХНОЛОГИЯ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6. ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРИДА КАЛИЯ

Цель занятия: изучение основ химико-технологических расчетов

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	ПК-1 анализирует сырьё и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации	Пороговый уровень понимает основные направления переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
	ПК-1 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать	ПК-2 осуществляет	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и

проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
	ПК-2 ИД-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование принципиальной и аппаратурно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
	ПК-2 ИД-3 осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса; Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентируемого качества из различного сырья при наименьших затратах;

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Хлорид калия получают в основном из сильвинита – осадочной горной породы, состоящей из чередующихся слоев галита (NaCl), сильвина (KCl) и примесей (песок, глина, гипс). Способы получения хлорида калия из сильвинита имеют своей задачей разделение солей, входящих в состав этой породы, а также очистку и концентрирование целевого продукта. В зависимости от метода обработки исходного сырья выделяют галургический и флотационный способы получения хлорида калия.

Галургический способ разделения галита и сильвина основан на различной растворимости в воде хлоридов натрия и калия: при увеличении температуры в диапазоне 0–150 °С растворимость KCl в воде возрастает, в то время как растворимость NaCl уменьшается. Поэтому при охлаждении раствора, насыщенного обеими солями преимущественно будет кристаллизоваться хлорид калия, при этом раствор будет обогащаться хлоридом натрия. Для расчета количества соли, которое будет выделяться в твердую фазу при охлаждении или нагревании раствора, используют диаграммы состояния систем (фазовые диаграммы) – графическое изображение всех возможных состояний термодинамической системы в пространстве в зависимости от основных параметров состояния - температуры, давления и состава. На рис.1 приведена треугольная диаграмма трехкомпонентной системы: А-В-С. Каждая из вершин треугольника соответствует 100 % мас. компонента А, В или С, а его стороны являются геометрическим местом точек составов двухкомпонентных систем А-В, В-С или А-С.

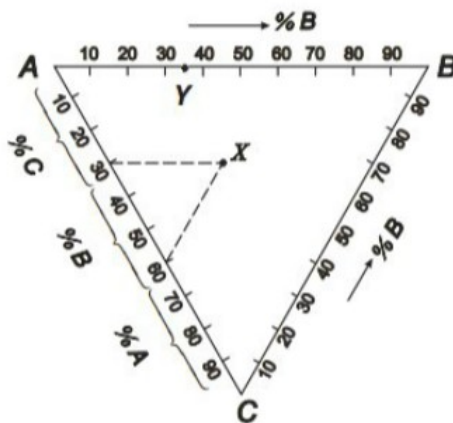


Рис. 1. Определение состава трехкомпонентного раствора на концентрационном треугольнике

Любая точка внутри концентрационного треугольника отвечает составу трехкомпонентной системы. Для определения состава трехкомпонентного раствора, который задается фигуративной точкой X из этой точки необходимо провести две линии, параллельные двум любым сторонам концентрационного треугольника до пересечения с третьей стороной. На третьей стороне концентрационного треугольника, на которую для удобства наносится масштабная сетка, отсекаются три отрезка, изображающие содержание всех трех компонентов: содержание компонента С отвечает отрезку, противолежащему вершине С, содержание компонента А — отрезку, противолежащему вершине А, а содержание компонента В — среднему отрезку, противолежащему вершине В. Таким образом, раствор состава X состоит из 40 % мас. компонента А, 30 % мас. компонента В и 30 % мас. компонента С. Сумма отрезков равна 100 % мас.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задание 1. Раствор, содержащий 5 % мас. NaCl, 20 % мас. KCl и 75 % мас. воды, упаривается при 100 °С. Определить максимальное количество KCl, которое можно получить при этом, и найти массу воды, которую необходимо выпарить. Составить материальный баланс процесса упарки раствора.

Задание 2. Определить какое количество хлорида калия выделяется при охлаждении от 100 до 25°С эвтонического раствора и сколько сильвинита, содержащего 25% KCl и 75% NaCl, потребуется для возобновления процесса (цикла).

Задание 3. Определить переход в раствор хлорида калия из сильвинита в растворителях калийной фабрики если составы сильвинита, продукта, отвала и илов те же, что и в предыдущем. Скачать решение задачи Задачае, а состав жидкой фазы, пропитывающей отвал: 8% KCl, 15% NaCl и 77% H₂O. В твердой фазе отвала содержится 1,7% KCl.

Повышенный уровень

Задание 1. Определить распределение хлорида калия из сильвинита при его переработке на химической фабрике, если известны составы, в %

Сильвинита		Отвала из растворителей	
KCl	24,5	KCl	2,3
NaCl	71,7	NaCl	85,9
Н. о. (нерастворимый осадок)	3,8	Н. о.	2,2
		H ₂ O	9,6
Всего 100,0		Всего 100,0	
Полученного хлористого калия		Выбрасываемых илов	
KCl	93,0	KCl	8,3
NaCl	7,0	NaCl	10,6
		Н. о.	17,4
		H ₂ O	63,8
Всего 100,0		Всего 100,0	

Общее извлечение KCl в полученный продукт 87,5%

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7. ПРОИЗВОДСТВО ФОСФАТА АММОНИЯ

Цель занятия: изучение основ химико-технологических расчетов

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	ПК-1 ИД-1 анализирует качество сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной	Пороговый уровень понимает основные направления переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;

	документации		
	ПК-1 осуществляет внедрение методов и средств технического контроля	ИД-2 новых и средств	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции	ИД-3 и образцов	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать проведение научно- исследовательских и опытно- конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	ИД-1 и результатов	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
	ПК-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	ИД-2 и и	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование принципиальной и аппаратно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
	ПК-2 осуществляет подготовку элементов	ИД-3	Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих

	документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса; Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентируемого качества из различного сырья при наименьших затратах;
--	--	---

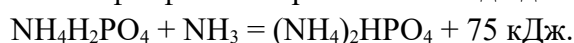
Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Фосфат аммония получают нейтрализацией экстракционной или термической фосфорной кислоты аммиаком. Нейтрализация фосфорной кислоты проводится в реакторах (сатураторах) с мешалками. Взаимодействие аммиака и фосфорной кислоты может быть описано следующей основной реакцией:



Если мольное отношение $\text{NH}_3:\text{H}_3\text{PO}_4 = 1:1$, то весь продукт получится в виде моноаммонийфосфата. На практике аммиак подают с некоторым избытком, чтобы часть моноаммонийфосфата нейтрализовалась до диаммонийфосфата:



Наиболее устойчивым соединением является моноаммонийфосфат, при нагревании которого до 100–110 °С не наблюдается потеря аммиака. Триаммонийфосфат разлагается на воздухе уже при 30–40 °С. Диаммонийфосфат при 70 °С теряет аммиак и переходит в моноаммонийфосфат:



Вопросы и задания:

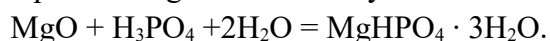
Пример 1. Рассчитать расход аммиака на нейтрализацию 500 кг фосфорной кислоты с массовой долей H_3PO_4 32 % (23 % P_2O_5), содержащей 4 % SO_3 , 3 % MgO , 1,86 % F. Состав полученной пульпы: моноаммонийфосфат – 49,7 % мас., диаммоний-фосфат - 8,7 % мас.

Решение

Исходное количество фосфора в кислоте (в пересчете на P_2O_5):

$$m_{\text{P}_2\text{O}_5}^{\text{H}_3\text{PO}_4} = \omega_{\text{P}_2\text{O}_5} \cdot m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,23 \cdot 500 \text{ кг} = 115 \text{ кг.}$$

Примесь MgO в кислоте будет находиться в форме димагнийфосфата $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$:



Определим, сколько фосфора в пересчете на P_2O_5 будет в этом соединении.

$$m_{\text{MgO}}^{\text{H}_3\text{PO}_4} = \omega_{\text{MgO}} \cdot m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,03 \cdot 500 = 15 \text{ кг};$$

$$v_{\text{MgO}} = m_{\text{MgO}}^{\text{H}_3\text{PO}_4} / M(\text{MgO}) = 15 / 40 = 0,375 \text{ кмоль};$$

$$\frac{v_{\text{MgO}}}{v_{\text{P}_2\text{O}_5}} = \frac{2}{1} \text{ (по уравнению реакции);}$$

$$v_{\text{P}_2\text{O}_5} = 0,375 \cdot 2 = 0,75 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{P}_2\text{O}_5}^{\text{MgO}} = v_{\text{P}_2\text{O}_5} \cdot M(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,75 \cdot 142 = 106,5 \text{ кг}.$$

На реакцию с аммиаком пойдет P_2O_5 :

$$m_{\text{P}_2\text{O}_5}^{\text{H}_3\text{PO}_4} - m_{\text{P}_2\text{O}_5}^{\text{MgO}} = 115 - 106,5 = 8,5 \text{ кг}.$$

Это соответствует 122,7 кг чистой H_3PO_4 (100 % мас.), поскольку

$$\omega_{\text{P}_2\text{O}_5}^{\text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{M(\text{P}_2\text{O}_5)}{2 \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{142}{2 \cdot 98} = 0,72.$$

Нейтрализация аммиаком фосфорной кислоты (с учетом примесей) сопровождается реакциями:



Найдем соотношение количеств моноаммонийфосфата и диаммонийфосфата в пульпе:

$$\frac{\omega(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)}{\omega((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)} = \frac{69,7}{12,3} = 5,7.$$

Предположим, что диаммонийфосфата получается x кг, тогда моноаммонийфосфата – $5,7x$ кг. Составим уравнение, зная, что на реакцию с аммиаком должно пойти 122,7 кг H_3PO_4 с массовой долей 100 %:

$$\frac{5,7x}{115} \cdot 98 + \frac{x}{132} \cdot 98 = 122,7; \quad x = 22.$$

Здесь 115, 132 и 98 – молярные массы моноаммонийфосфата, ди-аммонийфосфата и фосфорной кислоты, г/моль. Соответственно будет получено $5,7 \cdot 22 = 125,4$ кг моноаммонийфосфата и 22 кг ди-аммонийфосфата. Найдем массу аммиака, необходимую для получения этих солей:

$$m_{\text{NH}_3}^{\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4} = \frac{m_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4}}{M(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)} \cdot M(\text{NH}_3) = \frac{125,4}{115} \cdot 17 = 1,09 \cdot 17 = 18,5 \text{ кг};$$

$$m_{\text{NH}_3}^{(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4} = 2 \cdot \frac{m_{(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4}}{M((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)} \cdot M(\text{NH}_3) = 2 \cdot \frac{22}{132} \cdot 17 = 5,7 \text{ кг}.$$

Найдем количество аммиака, необходимое для связывания фторсодержащих примесей

$$m_{F}^{H_3PO_4} = \omega_F \cdot m(H_3PO_4) = 0,0186 \cdot 500 = 9,3 \text{ кг};$$

$$v_F = 0,489 \text{ кмоль};$$

$$\frac{v_F}{v_{NH_3}} = \frac{6}{2} \text{ (по уравнению реакции);}$$

$$v_{NH_3} = 0,489 / 3 = 0,163 \text{ кмоль};$$

$$m_{NH_3}^F = v_{NH_3} \cdot M(NH_3) = 0,163 \cdot 17 = 2,8 \text{ кг}.$$

Аналогично определим количество аммиака, необходимое для взаимодействия с H_2SO_4

$$m_{SO_2}^{H_3PO_4} = \omega_{SO_2} \cdot m(H_3PO_4) = 0,04 \cdot 500 = 20 \text{ кг};$$

$$v_{SO_2} = \frac{m_{SO_2}}{M(SO_2)} = \frac{20}{80} = 0,25 \text{ кмоль};$$

$$\frac{v_{SO_2}}{v_{NH_3}} = \frac{1}{2} \text{ (по уравнению реакции);}$$

$$v_{NH_3} = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ кмоль};$$

$$m_{NH_3}^{SO_2} = v_{NH_3} \cdot M(NH_3) = 0,5 \cdot 17 = 8,5 \text{ кг}.$$

Общий расход аммиака на 500 кг фосфорной кислоты составит:

$$m_{NH_3}^{общее} = m_{NH_3}^{NH_4H_2PO_4} + m_{NH_3}^{(NH_4)_2HPO_4} + m_{NH_3}^F + m_{NH_3}^{SO_2} =$$

$$= 18,5 + 5,7 + 2,8 + 8,5 = 35,5 \text{ кг}.$$

Реакция	Расход аммиака на реакцию, кг
$NH_3 + H_3PO_4 = NH_4H_2PO_4$	18,5
$2NH_3 + H_3PO_4 = (NH_4)_2HPO_4$	5,7
$2NH_3 + H_2SiF_6 = (NH_4)_2SiF_6$	2,8
$2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4$	8,5
<i>Всего</i>	35,5

Итоги расчета расхода аммиака на нейтрализацию 500 кг фосфорной кислоты с массовой долей 32 % приведены в таблице.

Базовый уровень

Задание 1. Рассчитать расход аммиака на нейтрализацию фосфорной кислоты. Данные для проведения расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Данные для расчета	ВАРИАНТ				
	I	II	III	IV	V
Состав экстракционной фосфорной кислоты, %:					
P_2O_5	19	20	21	22	23
SO_3	4	2	3	2	4
MgO	3	1	1	1	1
F	1	2	3	2	2
Расчет провести на массу фосфорной кислоты, кг	1000	500	1500	750	700
Температура, °C:					
поступающей кислоты	60	55	50	58	60
аммиака	27	25	30	20	25
отходящей пульпы	101	102	103	104	105

Задание 2. Определить какое количество ретура готового продукта - аммофоса, содержащего 2,5% влаги, необходимо смешать с аммофосной пульпой, содержащей 40% воды, чтобы получить шихту с влажностью 10%.

Задание 3. Определить объем воды, удаляемой за 1 ч ири сушке аммофосной пульпы (от ее начальной влажностп 40% до конечной 2,5%). если из фосфорной кислоты (32% P2O5) массой 1000 кг получается 588,7 кг сухих солей, а соответствующая им масса пульпы равна 990 кг. Производительность завода 640 тыс. т продукта в год при 340 рабочих днях.

Повышенный уровень

Задание 1. Используя данные примера, составить тепловой баланс сатурации в производстве аммофоса на 500 кг фосфорной кислоты указанного выше состава. Температура: поступающей кислоты 60 °С; аммиака 27 °С; отходящей пульпы 103 °С. Теплоёмкость фосфорной кислоты принять равной 2,868 кДж/(кг ·К), теплоёмкость пульпы 2,721 кДж/(кг ·К).

Задание 2. Составить тепловой баланс сатурации в производстве аммофоса. Данные для проведения расчета представлены в таблице 1.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8. ПРОИЗВОДСТВО НИТРОАММОФОСКИ

Цель занятия: изучение основ химико-технологических расчетов

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	ПК-1 ИД-1 анализирует качество сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации	Пороговый уровень понимает основные направления переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-2 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-3 осуществляет проведение испытаний новых и	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в

	модернизированных образцов продукции	производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 ИД-1 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
	ПК-2 ИД-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование принципиальной и аппаратно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
	ПК-2 ИД-3 осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса; Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентированного качества из различного сырья при наименьших затратах;

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

При аммонизации азотной и фосфорной кислот образуется плав аммиачной селитры пульпа фосфата аммония. Гранулирование последних в смеси с хлористым калием и сушка полученных гранул дает нитроаммофоску.

Производство нитроаммофоски состоит из следующих стадий получение плава аммиачной селитры, получение фосфатов аммония, грануляция и сушка. Плав аммиачной селитры получают нейтрализацией азотной кислоты аммиаком и выпариванием образующегося раствора.

Для получения фосфатов аммония используют упаренную экстракционную или термическую фосфорную кислоту с концентрацией не менее 52% P_2O_5 и газообразный аммиак, содержащий не менее 99% NH_3 и не более 1% H_2O .

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задание 1. Определить количество термической фосфорной кислоты (52% P_2O_5) и аммиака, необходимых для получения фосфатов аммония цеха нитроаммофоски производительностью 31,4 т/ч, содержащей 16,6% P_2O_5 . До аммонизации кислоту разбавляют до концентрации 47% P_2O_5 . Аммонизацию кислоты проводят до мольного отношения $NH_3/H_3PO_4 = 0,7$. В поступающем аммиаке содержится 99 % NH_3 и 1 % влаги.

Задание 2. Определить количество необходимого аммиака и состав получаемой пульпы при аммонизации экстракционной фосфорной кислоты в цехе производства нитроаммофоски производительностью 31,4 т/ч, содержащей 16,6% P_2O_5 . Состав кислоты после разбавления: 47% - P_2O_5 ; 0,2% - CaO; 38% - SO_3 ; 0,73% - Fe_2O_3 ; 0,57% - Al_2O_3 ; 0,37% - SO_2 и 0,45% - F. Другие необходимые данные использовать из предыдущего. Скачать решение задачи Задачаа. Используемый газообразный аммиак содержит 99% NH_3 и 1% H_2O .

Задание 3. Используя данные предыдущей задачи, вычислить количество испарившейся воды за 1 ч, если кислота и аммиак поступают с температурой 40°C, а температура отходящей пульпы равна 125 °C.

Задание 4. В цехе нитроаммофоски в гранулятор-аммонизатор длиной 6 м и диаметром 4 м поступает в 1 ч 0,5 т жидкого аммиака; 12,5 т хлористого калия; 17,5 т плава аммиачной селитры и 15,5 т раствора фосфата аммония. Вычислить время пребывания поступающих материалов в грануляторе при степени заполнения им объема аппарата, равной 0,2, и насыпной плотности массы, равной 1150 кг/м³.

Повышенный уровень

Задание 1. Определить часовой приход в гранулятор основных реагентов (не считая ретура), необходимых для получения 40 т нитроаммофоски, содержащей 17% - N, 17% P₂O₅ и 17% K₂O; если в поступающем плаве аммиачной селитры содержится 97% NH₄NO₃, в жидком аммиаке - 99,3% NH₃. Раствор фосфатов аммония содержит NH₃ и H₃PO₄ в мольном отношении 0,7/1. Его получают из фосфорной (47% P₂O₅) кислоты (содержанием примесей в кислоте можно пренебречь). В грануляторе фосфорная кислота нейтрализуется до мольного отношения NH₃/H₃PO₄ = 1,05. Используемый хлористый калий содержит 98% KCl в сухом веществе и 1% влаги. Расчет ведем на 1000 кг нитроаммофоски.

Задание 2. Гранулятор-аммонизатор, служащий для гранулирования нитроаммофоски, имеет длину L = 6 м и диаметр D = 4 м. Определить частоту вращения барабана и теоретическое время пребывания материала в нем, если степень заполнения гранулятора равна 0,2, а наклон его по отношению к горизонту составляет α = 2°.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 9. ПРОИЗВОДСТВО КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ АЗОТНОКИСЛОТНЫМ РАЗЛОЖЕНИЕМ ФОСФАТОВ

Цель занятия: изучение основ химико-технологических расчетов

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса	ПК-1 ИД-1 анализирует качество сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации	Пороговый уровень понимает основные направления переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-2 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-3 осуществляет проведение испытаний новых и	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в

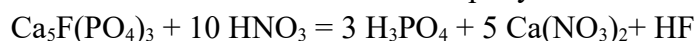
	модернизированных образцов продукции	производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 ИД-1 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
	ПК-2 ИД-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование принципиальной и аппаратно-технологической схемы, проводит материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
	ПК-2 ИД-3 осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса; Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентированного качества из различного сырья при наименьших затратах;

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Производство комплексных удобрений этим методом состоит из двух стадий:

1) получение азотнокислотной вытяжки разложением природного фосфата — апатитового концентрата или фосфорита азотной кислотой и 2) переработка азотнокислотной вытяжки в конечный продукт.



представляет собой раствор фосфорной кислоты и нитрата кальция.

Кроме того она содержит продукты взаимодействия примесей сырья с азотной кислотой. Разлагать фосфаты можно смесью азотной кислоты с серной или фосфорной кислотами, а также с сульфатом аммония или калия.

Переработка вытяжки в конечные продукты заключается в нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком и выделении части кальция в виде нефосфатных соединений, так как в удобрении отношение $\text{CaO} / \text{P}_2\text{O}_5$ должно быть меньше, чем в исходном сырье. В зависимости от метода выделения из системы или связывания части кальция различают следующие способы переработки азотнокислотной вытяжки и получения комплексных удобрений;

Вымораживание нитрата кальция из раствора;

Осаждение избытка кальция в виде CaCO_3 путем карбонизации аммонизируемой пульпы (карбонатный способ);

Осаждение избытка кальция в виде CaSO_4 серной кислотой (азотно-сернокислотный способ) или сульфатами аммония, натрия, калия (сульфатный способ) выделение кальция из раствора этими методами можно совмещать с процессом азотнокислотного разложения фосфата; это позволяет при определенных условиях провести процесс с уменьшенным расходом азотной кислоты (при неполной норме азотной кислоты в расчете на CaO); введение в систему дополнительного количества фосфорной кислоты (экстракционной или термической) для получения требуемого соотношения между CaO и P_2O_5 .

Полученную тем или иным способом нейтрализованную пульпу смешивают с калийной солью (если она не была введена раньше в процессе подготовки пульпы) и высушивают в смеси с ретуром готового продукта.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задание 1. Составить материальный расчет получения азотнокислотной вытяжки разложением апатитового концентрата 45%-ной НМО8. Избыток кислоты - 5% от стехиометрического количества.

Состав апатитового концентрата, % P_2O_5 - 39,4; CaO - 51,8; Ce_2O_3 - 0,95; F - 3,03; Fe_2O_3 - 0,84; SiO_2 - 1,51; He - 1,97; H_2O - 0,5 Степень извлечения компонентов апатита при

разложении: P_2O_5 , CaO , Ce_2O_3 - 98%, фтора - 95%, Fe_2O_3 - 70%. За основание расчета принимаем 1000 кг апатитового концентрата.

Задание 2. Составить материальный расчет осаждения кремнефторида натрия из азотнокислотной вытяжки, полученной разложением 1000 кг апатитового концентрата. Азотнокислотная вытяжка имеет состав, приведенный выше. Расход 20%-ного раствора Na_2CO_3 на осаждение фтора составляет 300% от стехиометрического количества. В осадок переходит 80% фтора, содержащегося в растворе

Повышенный уровень

Задание 1. Составить материальный расчет нейтрализации обесфторенной азотнокислотной вытяжки с учетом получения сложного удобрения, в котором массовое отношение $N/P_2O_5 = 1/1$. Из общего количества P_2O_5 , содержащейся в удобрении, 80% находится в цитратнорастворимой форме (в виде $CaHPO_4$) и 20% в водорастворимой форме (в виде $NH_4H_2PO_4$). Избыточный кальций выводится из вытяжки охлаждением. Отделяемый кристаллический осадок нитрата кальция содержит 8% HNO_3 . После кислотной промывки соли содержание в ней кислоты увеличивается на 1,6%. Нейтрализация вытяжки производится 100%-ным газообразным аммиаком. Состав раствора азотнокислотной вытяжки после обесфторивания на 1000 кг апатитового концентрата следующий, кг;

$Ca(NO_3)_2$	-	1486,7
H_3PO_4	-	532,95
H_2SiF_6	-	7,27
$Fe(NO_3)_2$	-	17,79
$Ce(NO_3)_3$	-	18,50
$NaNO_3$	-	68,67
H_2O	-	1797,03
HNO_3	-	7,4

Стехиометрический расход азотной кислоты на разложение 1000 кг апатитового концентрата 1166,8 кг (стр. 388). За основание расчета принимаем 1000 кг апатитового концентрата.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 10. ПРОИЗВОДСТВО НИТРОФОСКИ АЗОТНО-СЕРНОКИСЛОТНЫМ СПОСОБОМ

Цель занятия: изучение основ химико-технологических расчетов

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех	ПК-1 ИД-1 анализирует качество сырья и материалов, полуфабрикатов и	Пороговый уровень понимает основные направления переработки минерального сырья и вторичных минеральных ресурсов при

стадиях производственного процесса	комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации	производстве минеральных удобрений; Повышенный уровень понимает новые производственные процессы получения минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-2 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	Пороговый уровень использует анализ влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень исследует термодинамический и статический анализы процессов производства минеральных удобрений;
	ПК-1 ИД-3 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции	Пороговый уровень применяет методы анализа влияния различных факторов на скорость процесса и выход продукта в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей; Повышенный уровень разрабатывает методы химико-технологических расчетов процессов производства минеральных удобрений;
ПК-2 Способен организовать проведение научно- исследовательских и опытно- конструкторских разработок по отдельным разделам темы	ПК-2 ИД-1 осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Пороговый уровень понимает взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных технологических стадий, способы регулирования их режима, уровень влияния на качественные характеристики материальных потоков и показатели технологической цепочки в целом; Повышенный уровень понимает технологические особенности переработки богатого, бедного и вторичного сырья; способы получения побочных продуктов общего и тукового предназначения; направления совершенствования ассортимента удобрений;
	ПК-2 ИД-2 осуществляет выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	Пороговый уровень обосновывает выбор способов и режимов технологических воздействий для превращения исходных компонентов в целевой вид продукции; Повышенный уровень исследует формирование принципиальной и аппаратурно- технологической схемы, проводит

		материальные и тепловые расчеты, определяет расходные коэффициенты;
ПК-2	ИД-3	<p>Пороговый уровень применяет навыки определения и обоснования диапазона управляющих параметров, обеспечивающих заданные показатели эффективности химико-технологического процесса;</p> <p>Повышенный уровень владеет навыками сопоставительного анализа различных технологических траекторий получения продукции регламентированного качества из различного сырья при наименьших затратах;</p>
	осуществляет подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ	

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Нитрофоску с широким интервалом соотношений питательных веществ и различной долей P_2O_5 в воднорастворимой форме получают при выделении из азотнокислотной вытяжки в твердую фазу части кальция в виде сульфата при помощи серной кислоты. При этом вводимая серная кислота идет также на разложение фосфата, т. е. для замены части азотной кислоты. Например, при получении продукта, содержащего в воднорастворимой форме 50% P_2O_5 от его общего количества, необходимый расход кислот определяется уравнением



При дальнейшей аммонизации пульпы нитрат кальция переходит в цитратнорастворимый дикальцийфосфат, а оставшиеся 3 моль H_3PO_4 образуют воднорастворимый моноаммонийфосфат. В этом случае расход серной кислоты составляет 70%, а азотной — 30% от общей нормы кислот. В зависимости от содержания воднорастворимой P_2O_5 в получаемом удобрении изменяется количество связываемой окиси кальция и соотношение между азотной и фосфорной кислотами.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задание 1. Определить расход серной и азотной кислот для получения из 1000 кг апатитового концентрата азотно-серно-кислотным способом нитрофоски, содержащей 20 и 40% от общего количества P_2O_5 в воднорастворимой форме при массовом отношении $N/P_2O_5 = 1/1$. Апатитовый концентрат содержит 39,5% P_2O_5 и 51,5% CaO.

Задание 2. Составить материальный баланс разложения 1000 кг апатитового концентрата азотной и серной кислотами для производства нитрофоски с соотношением $P_2O_{5\text{под}}/P_2O_{5\text{цифр}} = 1/1$. Апатитовый концентрат содержит: 39,4% - P_2O_5 ; 51,8% - CaO; 8,03% - F; 0,84% Fe_2O_3 , 0,95% - Se_2O_3 , 1,97% - н. о.; 1,51% - SiO_2 и 0,5% H_2O . Разложение апатита ведется при последовательной подаче кислот - сначала азотной, концентрации 47% HNO_3 , затем серной, концентрации 92,5% H_2SO_4 . Степень извлечения компонентов из апатитового концентрата в раствор составляет: P_2O_5 , F и CaO - 98%, Se_2O_3 - 95%, Fe_2O_3 - 70%.

Задание 3. Используя данные предыдущей задачи, составить материальный баланс аммонизации пульпы, полученной разложением 1000 кг апатитового концентрата в производстве азотно-сернокислотным способом нитрофоски, содержащей 50% P_2O_5 в воднорастворимой форме. В процессе аммонизации пульпы необходимо учесть дополнительное количество азотной кислоты, необходимой для уравнивания отношения N/P_2O_5 до 1/1.

Повышенный уровень

Задание 1. Определить количество хлористого калия (95% KCl), расходуемое при смешении с пульпой, полученной из 1000 кг апатитового концентрата, содержащего 39,4% P_2O_5 , для производства нитрофоски, если в готовом продукте массовое отношение $P_2O_5/K_2O = 1/1$, а степень перехода P_2O_5 в пульпу равна 98%. Вычислить количество образующихся продуктов при взаимодействии 90% KCl с NH_4NO_3 .

Задание 2. Определить состав нитрофоски и количество материалов, необходимых для ее получения разложением 1000 кг апатитового концентрата неполной нормой 50%-ной HNO_3 в присутствии сульфата аммония. Апатитовый концентрат имеет следующий состав, %: P_2O_5 - 39,4; CaO - 51,8; Фтор - 3,0; Fe_2O_3 - 0,84; SiO_2 - 1,5; He - 1,95; H_2O - 0,56; Степень разложения апатита по отдельным составляющим: P_2O_5 , CaO и Se_2O_3 - 97%, фтор - 95%, Fe_2O_3 - 70%, Сульфат аммония содержит: 98,5% $(NH_4)_2SO_4$ и 1,5% H_2O . Хлористый калий содержит: 95% KCl и 5% примесей и воды

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Перечень основной литературы:

1 Кондауров Б.П., Александров В. И., Артемов А.В. Общая химическая технология: учеб. пособие. - М.: Академия, 2012.

Перечень дополнительной литературы:

1. Ахметов Т.Г. Химическая технология неорганических веществ. М.: КолосС, 2004 .
2. Р.С. Соколов Химическая технология. Учеб.пособие М: ВЛАДОС 2000. - том 448 с, П-том 368с.
3. Химическая технология неорганических веществ. Учеб пособие/ Под ред.Т.Г. Ахметова М: Химия 1998.- 488с.
4. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений: Учебник д. для техн. ВУЗов, 6-е изд. перераб. Л.: Химия, 1989. - 352с.
5. Общая химическая технология: Учебник для техн. ВУЗов /А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгардтен. - 2-е изд; испр. и доп. - М., Высш. шк., 1990.-502 с.
6. Технология аммиачной селитры /Под ред. В.М. Олевского М.: Химия, 1978. -312с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

- 1 <http://window.edu.ru/> – единое окно доступа к образовательным ресурсам
- 2 <http://biblioclub.ru/> — ЭБС «Университетская библиотека онлайн».
- 3 <http://catalog.ncstu.ru/> — электронный каталог ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО
- 4 <http://www.iprbookshop.ru> — ЭБС.
- 5 <https://openedu.ru> – Открытое образование