

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Директор строительно-
технологического института

_____ В.В. Власов
« ____ » _____ 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА дисциплины «ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»

Направление подготовки (специальность) 18.03.01 Химическая технология

Профиль (Специализация)

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Нормативный срок обучения 4 года

Форма обучения очная

Авторы программы: профессор кафедры химии,
доктор технических наук Глазков С.С.

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии

« ____ » _____ 2015 года Протокол № _____

Зав. кафедрой, д.х.н., профессор _____ О.Б. Рудаков

Воронеж 20

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЁ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

1. 1. Цель преподавания дисциплины

Химическая технология - интегрирующая наука, базирующаяся на фундаментальных основах химии, физики, механики, математики, управления, экономики. Целями освоения дисциплины являются общее ознакомление с химическими производствами, рассмотрение общих проблем синтеза и анализа химических производств с целью создания высокоэффективных ресурсосберегающих производств.

В курсе «Общая химическая технология» дается общее представление о химическом производстве как химико-технологической системе, рассматриваются основные методы и приемы разработки эффективных химико-технологических систем, уделяется внимание проблемам сырья, энергии и водоподготовки в химической технологии. На примере некоторых конкретных химических производств предметно демонстрируются теоретические положения курса.

Основными методами исследования в ОХТ являются математическое моделирование химико-технологических процессов и химических аппаратов, опирающееся на закономерности химико-физических явлений, процессов массо- и теплопереноса, а также системный анализ технологических систем и взаимодействий элементов.

Цель преподавания «Общей химической технологии» – дать студентам знания о химических веществах и материалах; методах и приборах определения состава и свойств веществ и материалов; оборудовании, технологических процессах и промышленных схемах получения веществ, материалов, изделий, а также о системах управления ими и регулирования; о методах и средствах оценки состояния окружающей среды и защиты ее от влияния промышленного производства, энергетики и транспорта.

1. 2. Задачи изучения дисциплины

Задачами изучения общей химической технологии являются: подготовка бакалавров к различным видам профессиональной деятельности, включающей производственно-технологическую часть, а также научно-исследовательскую работу в интересах конкретного производства; получение навыков использования полученных знаний в профессиональной деятельности, освоение теоретических основ химической технологии и основными инженерными расчетами.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Современная общая химическая технология является одной из основополагающих наук, без которой невозможно развитие многих промышленных технологий. Применительно к строительным специальностям именно общая химическая технология должна обеспечить прогрессивными технологиями в системах тепло и газоснабжения, производстве новых материалов, таких как пластмассы, керамика, новые марки цементов с эксклюзивными свойствами; производства отделочных материалов, в том числе покрытий для полов, обоев, лаков, красок и других объектов, обладающих необходимыми функциональными свойствами и безвредных для человека.

Требования к «входным» знаниям и умениям студента, необходимым для изучения дисциплины «Общая химическая технология» требует основных знаний, умений и компетенций студента по курсам: химия, математика, физика, гидравлика, инженерная графика.

Дисциплина «Общая химическая технология» является предшествующей для следующих курсов: безопасность жизнедеятельности; моделирование химико-технологических процессов; процессы и аппараты химической технологии; химические реакторы; системы управления химико-технологическими процессами; материаловедение и защита от коррозии.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Общая химическая технология» направлен на формирование следующих компетенций:

- осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции (ПК-7);
- анализировать технологический процесс как объект управления (ПК-17);
- систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия и формированию ресурсов предприятия (ПК- 20);
- планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, математически моделировать физические и химические процессы и явления, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения (ПК-21);
- использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления (ПК-24).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах;
- иметь полное и подробное представление о свойствах органических и неорганических веществ, с которыми студент будет иметь дело в процессе своей профессиональной деятельности;
- методы оценки эффективности производства;
- общие закономерности химических процессов;
- основные химические производства;

уметь:

- рассчитывать основные характеристики химического процесса;
- выбирать рациональную схему производства заданного продукта;
- оценивать технологическую эффективность производства;
- использовать методы, способы и средства получения веществ и материалов с помощью физических, физико-химических и химических процессов, производство на их основе изделий различного назначения;
- должен участвовать в создании, внедрении и эксплуатации промышленных производств основных неорганических веществ, строительных материалов и т.д.;

владеть:

- методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования,
- методами анализа эффективности работы химических производств,
- методами расчета и анализа процессов в химических реакторах,
- определения технологических показателей процесса,
- методами выбора химических реакторов,

- методами управления химико-технологическими системами и методами регулирования химико-технологических процессов.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Общая химическая технология» составляет 4 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	-	-
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа (всего)	72	72
В том числе:		
Курсовой проект		
Контрольная работа		
Вид промежуточной аттестации		Зачет с оценкой
Общая трудоемкость, час/зач.ед	144	144
	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	2	3
1	Химико-технологический процесс и его содержание	Введение. Классификация химических реакций в химико-технологических процессах. Стехиометрия химических реакций. Технологические критерии эффективности химико-технологических процессов. Химико-технологические системы (ХТС)
2	Основные закономерности химической технологии	Скорость химической реакции. Общая скорость химического процесса. Равновесие химических реакций. Способы смещения равновесия. Зависимость константы равновесия от температуры. Расчет равновесия по термодинамическим данным. Гомогенные процессы. Характеристика гомогенных процессов. Гомогенные процессы в газовой фазе. Гомогенные процессы в жидкой фазе. Основные закономерности гомогенных процессов.

1	2	3
		Скорость гомогенных химических реакций. Зависимость скорости реакций от концентрации реагентов. Кинетические уравнения. Способы изменения скорости простых и сложных реакций. Гетерогенные процессы. Характеристика гетерогенных процессов. Процессы в бинарных твердых, двухфазных жидких и многофазных системах. Каталитические процессы. Сущность и виды катализа. Свойства твердых катализаторов и их изготовление. Аппаратурное оформление каталитических процессов.
3	Важнейшие химические производства	Производство серной кислоты. Технология связанного азота. Сырьевая база азотной промышленности. Синтез аммиака. Производство азотной кислоты. Производство фосфорной кислоты. Производство простого суперфосфата. Производство двойного суперфосфата. Технология минеральных удобрений. Классификация минеральных удобрений. Типовые процессы солевой технологии. Производство фосфорной кислоты. Производство простого суперфосфата. Производство двойного суперфосфата. Производство азотных удобрений. Производство аммиачной селитры. Производство карбамида. Производство сульфата аммония. Производство нитрата кальция. Производство жидких азотных удобрений. Производство калийных удобрений. Общая характеристика. Получение хлористого калия. Получение сульфата калия.
4	Производство силикатных и других материалов	Силикатные материалы. Общие сведения о силикатных материалах. Типовые процессы технологии силикатных материалов. Производство стекла. Состав и классификация стекол. Процесс производства стекла. Производство керамических материалов. Общая характеристика и классификация материалов. Производство огнеупоров.
5	Электрохимические производства	Электрохимические производства. Электролиз водных растворов хлористого натрия. Вода. Свойства. Промышленная водоподготовка. Электролиз водных растворов хлористого натрия. Электролиз раствора хлористого натрия в ваннах со стальным катодом и графитовым анодом. Производство соляной кислоты. Электролиз расплавов. Производство алюминия. Производство глинозема. Производство алюминия.

5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ разделов данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин				
		1	2	3	4	5
1.	Безопасность жизнедеятельности	+	+	+	+	+
2.	Моделирование химико-технологических процессов	+	+	+	+	+
3.	Процессы и аппараты химической технологии	+	+	+	+	+
4.	Химические реакторы	+	+	+	+	+
5.	Системы управления химико-технологическими процессами	+	+	+	+	+

5.3. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего час.
1.	Химико-технологический процесс и его содержание	4	-	2	10	16
2.	Основные закономерности химической технологии	8	-	4	30	42
3.	Важнейшие химические производства	12	-	6	20	38
4.	Производство силикатных и других материалов для строительства	8	-	4	6	18
5.	Электрохимические производства	4	-	20	6	30

5.4. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час)
1	Химико-технологический процесс и его содержание	Техника безопасной работы в химической лаборатории. Получение сернистого натрия	2
		Оценка эффективности процессов	2
2	Основные закономерности химической технологии	Каустификация содового раствора	4
3	Важнейшие химические производства	Определение показателей качества воды	4
		Очистка воды методом коагуляции	4
		Умягчение воды методами	4
		Сорбция кислот из сточных вод анионитами	2
4	Производство силикатных и других материалов	Получение стекла	2
		Получение солей высших жирных кислот	4

5	Электрохимические производства	Электрохимическое получение хлора и щелочи электролизом водных растворов хлорида натрия	4
		Определение скорости коррозии металлов	4

5.5. Практические занятия

Не планируются.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Не предусмотрены

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО И ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

№ п/п	Компетенция (профессиональная - ПК)	Форма контроля	Семестр
1	способностью и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции (ПК-7); анализировать технологический процесс как объект управления (ПК-17); систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия и формированию ресурсов предприятия (ПК- 20); планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, математически моделировать физические и химические процессы и явления, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения (ПК-21); использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления (ПК-24).	Отчет Тестирование Зачет	4

7.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Форма контроля		
		Отчет	Т	Зачет
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	+	+	+
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)	+	+	+
Владеет	методами управления химико-технологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)	+	+	+

7.2.1. Этап текущего контроля знаний

Результаты текущего контроля знаний и аттестации оцениваются по пятибальной шкале с оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «не аттестован».

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Оценка	Критерий оценивания
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	отлично	Полное или частичное посещение лекционных и лабораторных занятий. Выполненные ТЗ на оценки «отлично».
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		
Владеет	методами управления химико-технологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	хорошо	Полное или частичное посещение лек-

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Оценка	Критерий оценивания
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		ционных и лабораторных занятий. ТЗ на оценки «хорошо».
Владеет	методами управления химикотехнологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	удовлетворительно	Полное или частичное посещение лекционных и лабораторных занятий. Удовлетворительные выполненные ТЗ.
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		
Владеет	методами управления химикотехнологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	неудовлетворительно	Полное или частичное посещение лекционных и лабораторных занятий. Неудовлетворительно выполненные ТЗ.
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		
Владеет	методами управления химикотехнологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	не аттестован	Непосещение лекционных и практических занятий. невыполненные ТЗ.
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		
Владеет	методами управления химикотехнологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		

7.2.2. Этап итогового контроля знаний

По окончании изучения дисциплины во втором семестре результаты итогового контроля знаний (экзамен) оцениваются по четырехбальной шкале с оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно».

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Оценка	Критерий оценивания
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	отлично	Студент демонстрирует полное понимание заданий. Все требования, предъявляемые к заданию, выполнены.
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		
Владеет	методами управления химико-технологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	хорошо	Студент демонстрирует значительное понимание заданий. Все требования, предъявляемые к заданию, выполнены.
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		
Владеет	методами управления химико-технологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	удовлетворительно	Студент демонстрирует частичное понимание заданий. Большинство требований, предъявляемых к заданию, выполнены.
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать		

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Оценка	Критерий оценивания
	технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		
Владеет	методами управления химико-технологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		
Знает	основные положения химии, являющиеся базовыми для понимания процессов, протекающих в газовых, жидких и твердых средах. (ПК-7,17,20,21,24)	неудовлетворительно	1. Студент демонстрирует небольшое понимание заданий. Многие требования, предъявляемые к заданию, не выполнены. 2. Студент демонстрирует непонимание заданий. 3. У студента нет ответа. Не было попытки выполнить задание.
Умеет	рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства. (ПК-7,17,20,21,24)		
Владеет	методами управления химико-технологическими системами и анализа эффективности химических производств (ПК-7,17,20,21,24)		

7.3. Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.3.1. Типовые контрольные задания и примеры их выполнения

Для управления комбинированными производствами, проектирования их, проведения комплексных исследований в условиях дальнейшей специализации и дифференциации химико-технологических знаний необходимо готовить специалистов, хорошо знающих, общие научные основы и типовые закономерности химико-технологических процессов и способных рассматривать химико-технологические процессы в их взаимосвязи. Эту задачу выполняет курс «Общая химическая технология».

Целью функционирования любой производственной системы является получение продуктов в нужном количестве и требуемого качества при оптимальном использовании ресурсов. Для решения этих задач применяются различные методы, в основе которых лежит материальный баланс, связывающий расход сырья с количеством получаемого продукта.

В компетенцию специалиста в области химической технологии входит проектирование и эксплуатация химико-технологической системы. Одним из элементов системы являются ресурсы (материальные в виде сырья, энергетические в виде топлива и других энергоносителей, технические устройства и т.д.), без которых она не может существовать. В процессе синтеза проектировщик решает проблему ее структуры и определяет потребность в соответствующих ресурсах. Недостаточно спроектировать систему, следует доказать ее реализуемость, т.е. связать расход ресурсов с окупаемостью затрат на их приобретение и эксплуатацию будущей установки. При этом стоит иметь в виду тот факт, что основной составляющей себестоимости продукта является стоимость сырья.

Настоящие практические работы призваны обеспечить освоение будущими специалистами методики составления материальных балансов для реакций различных технологических классов.

Курс лекций обязательно сочетается с семинарскими занятиями, на которых студенты занимаются расчетами химико-технологических процессов. Усвоив важнейшие расчетные формулы, студент осваивает решение конкретных инженерных задач: определение скорости химико-технологического процесса с обязательным учетом соотношения скоростей диффузионных процессов и химических реакций, их зависимости от параметров технологического режима. При этом студент приобретает навыки применения формул, соответствующих математическим моделям рассматриваемых реакторов, а также широко пользуется графиками и номограммами.

Данные практические задания составлены в соответствии с принятой программой по курсу «Общая химическая технология» и содержит принципы составления материальных и тепловых балансов, расчеты по равновесию и кинетике гомогенных и гетерогенных (массообменных) процессов, и др. Каждый раздел содержит типичные примеры и задачи для самостоятельного решения.

Методические указания к выполнению практических работ

Основой материального баланса являются законы сохранения массы вещества и стехиометрических соотношений, поэтому прежде чем приступить к выполнению практических работ по данной дисциплине, необходимо вспомнить курс общей, физической химии. Прежде чем приступить к расчетам в области проектирования химико-технологических процессов, следует познакомиться с основными понятиями, такими как система, структура системы и способы ее представления и т.д.

Следует четко представлять систему и ее структуру, поскольку в основе материального баланса лежит знание абсолютного состава потоков сырья, вспомогательных материалов, полупродуктов, продуктов и т.д., поступающих в аппарат и покидающих ее.

Химико-технологические системы обладают сложной структурой, которая содержит множество операторов и многочисленные комбинации разнообразных связей между ними. В ходе разработки из набора альтернативных структур следует строить оптимальную систему с минимальным, но необходимым набором операторов и связей, достаточных для ее функционирования. В примерах все материальные и тепловые балансы рассчитывать на нормальные условия – давление $1,01325 \times 10^5$ Па (760 мм рт. ст.) и температура 0°C .

Принципы составления материальных балансов и материальные расчеты

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. Целью этих расчетов может быть определение кинетических констант и оптимальных параметров производства или же вычисление реакционных объемов и основных размеров химических реакторов.

Материальные расчеты являются основой технологических расчетов. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести необходимые конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса. Составление материального баланса необходимо как при проектировании нового, так и при анализе работы существующего производства. При проектировании новых производств используется опыт существующих с учетом результатов современных новейших исследований. На основе сравнительного технико-экономического анализа действующих производств возможно выбрать наиболее рациональную технологическую схему, оптимальные конструкции аппаратов и условия осуществления процесса.

Расчеты расходных коэффициентов

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

Себестоимостью называется денежное выражение затрат данного предприятия на изготовление и сбыт продукции. Для составления калькуляции себестоимости, т. е. расчета затрат на единицу продукции — определяют статьи расхода и в том числе расходные коэффициенты по сырью, материалам, топливу и энергии и с учетом цены на них рассчитывают калькуляцию. На практике обычно, чем меньше расходные коэффициенты, тем экономичнее процесс и соответственно тем меньше себестоимость продукции. Однако снижение расходных коэффициентов ниже определенного минимума связано с необходимостью повышения чистоты исходных материалов, степеней извлечения, выхода продукта, что требует значительных расходов и может повести к увеличению себестоимости продукта.

Особое значение имеют расходные коэффициенты по сырью, поскольку для большинства химических производств 60—70% себестоимости приходится на эту статью. Для расчета расходных коэффициентов необходимо знать все стадии технологического процесса, в результате осуществления которых происходит превращение исходного сырья в готовый продукт.

Теоретические расходные коэффициенты A_t учитывают стехиометрические соотношения, по которым происходит превращение исходных веществ в целевой продукт. Практические расходные коэффициенты $A_{пр}$, кроме этого, учитывают производственные потери на всех стадиях процесса, а также побочные реакции, если они имеют место.

Расходные коэффициенты для одного и того же продукта зависят от состава исходных материалов и могут значительно отличаться друг от друга. Поэтому в тех случаях, когда производство и сырье отдалены друг от друга, необходима предварительная оценка по расходным коэффициентам при выборе того или иного типа сырья с целью определения экономической целесообразности его использования.

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

М

Шпатовый железняк FeCO_3 115,8

Лимонит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 373

Гетита $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 355

Красный железняк Fe_2O_3 159,7

Магнитный железняк Fe_3O_4 231,5

где M — мол. масса.

Решение.

FeCO_3 .

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

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

Аналогично находим значения теоретических расходных коэффициентов для других руд:

$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

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

$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

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

Fe_2O_3

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



$$(1 \times 0,92 \cdot 231,5) / (3 \cdot 55,9) = 1,28 \text{ т}$$

Пример 2. Рассчитать расход алунитовой руды, содержащей 23% Al_2O_3 , для получения 1 т алюминия, если потери алюминия на всех производственных стадиях составляют 12% (масс). Алунит можно представить следующей формулой: $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, мол. Масса алунита 828.

Решение. Процесс получения металлического алюминия из алунита состоит из двух стадий:

1. Получение окиси алюминия (глинозема), для чего алунитовую руду обжигают при 500-580°C, а затем обрабатывают раствором аммиака. Оставшиеся в осадке Al_2O_3 и $\text{Al}(\text{OH})_3$ обрабатывают 10-12% раствором NaOH и получают раствор алюмината, из которого при пропускании CO_2 выпадает осадок $\text{Al}(\text{OH})_3$, последующее прокаливание осадка заканчивает стадию образования глинозема.

2. Электролизом окиси алюминия, растворенной в расплавленном криолите Na_3AlF_6 , получают металлический алюминий.

Для получения 1000 кг алюминия теоретически требуется

$$(102 \cdot 1000) / (2 \cdot 27) = 1900 \text{ кг } \text{Al}_2\text{O}_3$$

где: 102 — мол. масса Al_2O_3 ; 27 — мол. масса Al)

или чистого алунита

$$(1900 \cdot 828) / (3 \cdot 102) = 5100 \text{ кг}$$

Содержание Al_2O_3 в алуните составляет

$$(3 \cdot 102 \cdot 100) / 828 = 37\%$$

По условию в алунитовой руде содержится 23% Al_2O_3 . Следовательно, расход алунитовой руды заданного состава на 1 т алюминия при условии полного использования ее составит:

$$(5100 \cdot 37) / 23 = 8200 \text{ кг} = 8,2 \text{ т}$$

Практический расход, учитывающий производственные потери алюминия на всех стадиях производства $A_{\text{пр}} = 8,2 / 0,88 = 9,35 \text{ т}$

Расчет состава исходной смеси

Состав смесей является важнейшим параметром технологического режима, оказывающим влияние на скорость химической реакции и сопровождающих ее физических процессов, качество продукта, безопасность ведения процесса и т.д. Изменение состава смесей происходит в операторах смешения, разделения и химического превращения. В первых двух состав изменяется в результате физических процессов смешения исходных веществ или разделения смесей на отдельные компоненты или фракции. В операторе химического превращения состав изменяется за счет протекания химической реакции, когда количество исходных веществ уменьшается, а продуктов — увеличивается. Условимся поток реагентов на входе в реактор (в оператор «химическое превращение») называть *исходной смесью*, а выходящий из реактора поток — *реакционной смесью*.

Различают качественный и количественный составы смеси. Количественный состав включает перечень компонентов, содержащихся в потоке. Качественный состав является исходным для расчета количественного состава. Количественный состав характеризуется точными значениями количеств отдельных компонентов смеси и может быть выражен в абсолютных (кг, м³, кмоль) и относительных (% масс., % об., % моль) единицах. Мерой относительного состава является концентрация (содержание). В технических расчетах состав выражают в массовых, мольных и объемных единицах.

Расчет массового состава смеси. Единицей измерения массового состава в системе СИ является массовая доля, выраженная в процентах. Технологи для упрощения предпочитают говорить «массовый процент». Мы будем пользоваться последним обозначением (% масс.). Если имеется смесь, в составе которой G_A кг вещества А и G_B вещества В, то содержание отдельных

компонентов можно вычислить, приняв общую массу смеси за 100%. Тогда концентрации A и B составят:

$$[A] = G_A / (G_A + G_B) \cdot 100\% \text{ масс.}, [B] = G_B / (G_A + G_B) \cdot 100\% \text{ масс.}$$

Если массу смеси принять за единицу, то концентрации A и B составят соответственно, масс. доли.

Выполняя расчеты, проще пользоваться массовыми долями. При расчете многокомпонентных смесей концентрацию последнего компонента, чтобы исключить (скомпенсировать) неизбежную ошибку округления, вычисляют по разности

$$[C_n] = (100 - \sum C_i) \% \text{ масс.}$$

Аналогично выполняют расчет и для массовых долей, только сумму долей от первого до предпоследнего компонентов вычитают из единицы.

Расчет молярного состава смеси. Если имеется смесь, содержащая MA кмоль вещества A и MB кмоль вещества B, то содержание отдельных компонентов можно вычислить, приняв сумму киломолей за 100%. Тогда концентрации A и B составят:

$$[A] = M_A / (M_A + M_B) \cdot 100\% \text{ моль}, [B] = M_B / (M_A + M_B) \cdot 100\% \text{ моль.}$$

Если сумму киломолей принять за единицу, получим концентрации в мольных долях.

Расчет объемного состава смеси. Если имеется смесь, содержащая VA м3 вещества A и VB м3 вещества B, то и состав можно вычислить как в объемных процентах (% об.), так и в объемных долях:

$$[A] = V_A / (V_A + V_B) \cdot 100\% \text{ об.}, [B] = V_B / (V_A + V_B) \cdot 100\% \text{ об.}$$

Следует отметить, что для газовых смесей мольный и объемный составы совпадают. Это следует из того, что один киломоль любого газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 м3 (закон Авогадро).

За 100% всегда принимают общее количество смеси (массу, объем или число киломолей).

В некоторых расчетах используют мольно-объемную (кмоль/м3) или массово-объемную (г/л) концентрацию.

Пересчет составов смесей из одной системы единиц в другую. Достаточно часто в технологических расчетах приходится иметь дело с потоками реагентов, состав которых задан в различных единицах, например один поток в % масс., а другой — в % моль. Чтобы не совершить непоправимую ошибку при смешении этих потоков, следует составы привести к одним единицам. На нескольких примерах покажем алгоритм пересчета. Расчеты удобнее вести в табличной форме.

Пример 1. Пересчет объемного состава смеси в массовый

Исходные данные Расчет массового состава

Компонент % об. м3 кмоль кг % масс.

O2 21,1 21,1 21,1/22,4 = 0,942 0,942 • 32 = 30,14 30,18 • 100/124,29 = 24,25

N2 69,8 69,8 69,8/22,4 = 3,116 3,116 • 28 = 87,25 87,25 • 100/124,29 = 70,2

NH3 9,1 9,1 9,1/22,4 = 0,406 0,406 • 17 = 6,9 6,9 • 100/124,29 = 5,56

Итого 100 100 4,464 124,29 100

В данном примере мы задались общим объемом смеси 100 м3. Можно задаться любым объемом, в том числе использовать конкретное значение существующего газового потока. Зная состав и общий объем смеси, легко вычислить объемы каждого компонента, затем, используя закон Авогадро, перейти к киломолям и, умножая на молекулярную массу, — к массам отдельных компонентов.

Напомним, что для газовых смесей % об. = % моль. Чтобы убедиться в этом, найдем мольный состав смеси. Сумму киломолей (0,942+3,116+0,406) принимаем за 100%. Вычисляем содержание компонентов: [O2] = 0,942 • 100/4,464 = 21,1% моль и т.д. Теперь, если задаться количеством смеси 100 кмоль, расчет упрощается.

Формирование состава исходной смеси. Состав смеси на входе в оператор может быть задан в форме рецептуры или соотношения. Рецептура может быть представлена массовым, объемным или мольным составом.

Пример 4. Приготовить 3 т смеси по следующей рецептуре, % масс: изобутен — 17,6; изопрен — 0,6; хлористый метил — 81,8. Найти загрузку каждого компонента.

Решение

1. Определяем загрузку изобутена: $3 \cdot 0,176 = 0,528$ т.

2. Находим загрузку изопрена: $3 \cdot 0,006 = 0,018$ т.

3. Определяем загрузку хлористого метила: $3 - (0,528 + 0,018) = 2,454$ т.

(Массу последнего компонента лучше вычислять по разности.)

Пример 5. Приготовить смесь заданной в примере 1 рецептуры, если в наличии имеется 0,5 т изобутена.

Решение

1. Определим количество смеси А'(100%), которое можно приготовить из 0,5 т изобутена, если известно его содержание в этой смеси (17,6%). Составляем пропорцию:

17,6% — 0,5 т изобутена, 100% - X.

Отсюда находим: $X = 0,5 / 0,176 = 2,84$ т.

2. Загрузка изопрена: $2,84 \cdot 0,006 = 0,017$ т.

3. Загрузка хлористого метила: $2,84 - (0,5 + 0,017) = 2,32$ т.

ВНИМАНИЕ! В химической технологии понятия «сырье» и «реагент» не всегда совпадают.

Реагент — это полезный компонент сырья, который в результате химической реакции превращается в нужный (целевой) продукт. Остальные компоненты сырья являются примесями к реагенту. Технологические расчеты ведут сначала по реагенту, затем вычисляют загрузку сырья. Например, по расчету в процесс следует ввести 980 кг серной кислоты, а имеется только разбавленная водой (примесь) 70 %-ая H_2SO_4 . Сколько следует взять разбавленной кислоты, чтобы загрузить нужное количество (980 кг) реагента? Составим пропорцию:

980 кг реагента - 70 %-ая H_2SO_4 ,

X кг реагента - 100%-ая H_2SO_4 .

Отсюда количество разбавленной кислоты составит $980 \cdot 100/70 = 1400$ кг.

Разбавление концентрированных потоков. В производственных условиях часто образуются материальные потоки с низким содержанием полезного компонента. С другой стороны, в целом ряде технологий применение высококонцентрированного сырья может вызвать осмоление, высаливание и множество других отрицательных явлений, снижающих показатели качества и эффективности основного процесса. Для разбавления высококонцентрированного сырья до заданного значения можно воспользоваться инертным растворителем или низкоконцентрированным потоком, содержащим нужный компонент и не имеющим вредных примесей до заданного значения можно воспользоваться инертным растворителем или низкоконцентрированным потоком, содержащим нужный компонент и не имеющим вредных примесей.

Пример 1. Из 40 %-ого раствора NaOH получить 10 т разбавленного до 10 % раствора.

1. Составим схему материальных потоков смесителя:

На входе: 40 %-ный NaOH + примесь - вода

Вода на разбавление

На выходе: 10т 10 %-ного NaOH

вода (9 т)

2. Находим абсолютный состав потока смеси:

NaOH: $10 \cdot 0,1 = 1,0$ т; вода: $10 - 1 = 9$ т. "

3. Поскольку NaOH (1 т) поступает только с 40 %-ным потоком, то масса этого потока составит

$1/0,4 = 2,5$ т, в том числе воды будет $2,5 - 1 = 1,5$ т.

4. Из баланса по воде находим количество воды на разбавление: $9 - 1,5 = 7,5$ т.

Пример 2. Приготовить 8 т 40 %-ной серной кислоты из 98 %-ной и 10 %-ной H_2SO_4 .

1. Составим схему материальных потоков смесителя:

На входе: 98 %-ная H_2SO_4 (примесь - вода)

10 %-ная H_2SO_4 (примесь - вода)

На выходе: 40 %-ная H_2SO_4 8 т (примесь - вода)

2. Примем количество поступающей 98 %-ной H_2SO_4 за X т, тогда масса 10 %-ной H_2SO_4 составит $8 - X$ т.

3. Определим количество H_2SO_4 , которое содержится в 8 т 40 %-ной кислоты: $8 \cdot 0,4 = 3,2$ т.

4. Составим уравнение материального баланса: $0,98X + 0,1(8 - X) = 3,2$. Отсюда $X = 2,727$ т.

Таким образом, 98 %-ной кислоты следует взять 2,727 т, тогда масса разбавленной кислоты составит $8 - 2,727 = 5,273$ т.

Расчет состава реакционной смеси

При расчете состава смеси, получаемой в результате протекания химической реакции, пользуются законом стехиометрических соотношений: *вещества реагируют друг с другом в соотношениях, равных их стехиометрическим коэффициентам в уравнении*. Так, для реакции $SO_2 + 0,5O_2 = SO_3$, если прореагирует 1 кмоль SO_2 , то кислорода прореагирует 0,5 кмоль и образуется 1 кмоль SO_3 . Аналогично, если вступит в реакцию 5 кмоль SO_2 , то кислорода прореагирует 2,5 кмоль и появится 5 кмоль SO_3 .

Состав реакционных смесей невозможно вычислить без знания величины конверсии реагентов. Слово «конверсия» означает превращение. Различают общую и избирательную конверсии. *Общая конверсия* служит оценкой глубины протекания реакции или, что то же самое, степени использования реагента. Измеряется конверсия долей превращенного реагента от поданного, причем количество поданного реагента может быть принято за 100 % (тогда значение конверсии выражается в процентах) либо за единицу (тогда получают значение конверсии в долях от целого).

Таким образом, конверсия может изменяться в пределах от 0 до 1 или от 0 до 100 %. Величина конверсии 70 % означает, что в реакцию вступило 70 % поданного в реактор реагента A , а 30% осталось непревращенным. На входе потока в реактор значение $\alpha_A = 0$. Конверсия $\alpha_A = 1$ означает, что реагент A прореагировал полностью и его содержание в потоке на выходе из реактора будет равно нулю. Отметим, что в промышленности конверсии по разным причинам практически никогда не достигают 100%.

Конверсию обозначают X или α и рассчитывают обычно по одному из реагентов (как правило более дорогому), который называют ключевым, поскольку зная его конверсию, содержание остальных компонентов реакционной смеси легко найти с помощью стехиометрических коэффициентов. Для реакции $A + B = R + S$ можно рассчитать конверсию по реагенту A или B : $\alpha_A = (\text{Количество превращенного реагента } A / \text{Количество поданного реагента } A) \cdot 100\%$.

Следует отметить, что конверсия по реагенту A не равна конверсии по реагенту B . Равенство конверсии может наблюдаться только в частном случае, когда равны исходные концентрации реагентов A и B и их стехиометрические коэффициенты. Чтобы рассчитать конверсию реагента A из материального баланса, надо определить количество превращенного A (исчезнувшего в ходе процесса). С этой целью находят в приходной части баланса количество поданного в процесс «чистого» реагента A , т.е. без примесей, и вычитают из него остаток A , приведенный в расходной части баланса.

Общую конверсию можно также рассчитать, используя значения концентраций реагентов: $\alpha_A = (CA_0 - CA) / CA_0$, где CA_0 — начальная концентрация реагента A ; CA - текущая концентрация реагента A . Разность, стоящая в числителе, равна количеству превращенного реагента A : $CA_0 \cdot \alpha_A = CA_0 - CA$

Количество непревращенного реагента A можно получить, решив уравнение относительно CA .

$$CA = CA_0 (1 - \alpha_A)$$

Если реакция протекает с изменением объема, в уравнение для расчета конверсии следует включить поправочный коэффициент на изменение объема ϵ :

$$CA = CA_0 ((1 - \alpha A)/(1 + \epsilon A + \alpha A))$$

Расчет состава реакционной смеси необходимо начинать с определения ее качественного состава, а затем переходить к расчету количеств.

Пример 1. При различных соотношениях и конверсиях реагентов определить качественный состав реакционной смеси для реакции $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 = 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$.

Решение

1. Реагенты загружают в мольном соотношении $\text{NH}_3:\text{O}_2 = 4 : 5$, конверсия $\alpha \text{NH}_3 = 1$. В этом случае реакционная смесь будет содержать только продукты NO и H_2O , поскольку реагенты загружены в стехиометрическом соотношении и полное превращение одного реагента повлечет за собой полную конверсию другого.

2. Реагенты загружают в мольном соотношении $\text{NH}_3:\text{O}_2 = 4 : 8$, конверсия $\alpha \text{NH}_3 = 1$. Теперь реакционная смесь содержит продукты NO и H_2O , а также O_2 , поскольку он взят в избытке, и если прореагируют все 4 кмоль NH_3 , то в реакцию войдет только 5 кмоль O_2 .

3. Реагенты загружают в мольном соотношении $\text{NH}_3:\text{O}_2 = 4 : 1$, конверсия $\alpha \text{NH}_3 = 0,8$. Реакционная смесь содержит как продукты, так и оба непревращенных реагента.

На нескольких примерах покажем алгоритм расчета состава реакционных смесей.

Пример 2. Рассчитать молярный и массовый составы реакционной смеси для реакции $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Реагенты подают в реактор в стехиометрическом соотношении $\text{H}_2\text{S} : \text{O}_2 = 2 : 3$ (моль). Конверсия сероводорода $\alpha \text{H}_2\text{S} = 10\%$.

Решение

1. Поскольку загрузка реагентов никак не задана, можно принять, что в реактор поступает 2 кмоль H_2S и 3 кмоль O_2 .

2. Результаты расчета реакционной смеси приведены ниже:

Расчет состава

Компонент	Исходная смесь, кмоль	% моль	Исходная реакционная смесь, кмоль	% масс.
-----------	-----------------------	--------	-----------------------------------	---------

H_2S :	2	$2 \cdot 0,1 = 1,8$	$1,8 \cdot 100/4,9 = 36,76$	
------------------------	---	---------------------	-----------------------------	--

	$1,8 \cdot 34 = 61,2$	$61,2 \cdot 100/164 = 37,317$		
--	-----------------------	-------------------------------	--	--

O_2 :	3	$3 - 0,3 = 2,7$	$2,7 \cdot 100/4,9 = 55,1$	
----------------	---	-----------------	----------------------------	--

	$2,7 \cdot 32 = 86,4$	$86,4 \cdot 100/164 = 52,683$		
--	-----------------------	-------------------------------	--	--

SO_2 :	- 0,2	$0,2 \cdot 100/4,9 = 0,2$	$0,2 \cdot 64 = 12,8$	$12,8 \cdot 100/164 = 7,805$
-----------------	-------	---------------------------	-----------------------	------------------------------

H_2O :	- 0,2	$0,2 \cdot 100/4,9 = 4,082$		
------------------------	-------	-----------------------------	--	--

	$0,2 \cdot 18 = 3,6$	$3,6 \cdot 100/164 = 2,195$		
--	----------------------	-----------------------------	--	--

Итого	5	4,9	100	164
-------	---	-----	-----	-----

3. Определим количество превращенного H_2S : $2 \cdot 0,1 = 0,2$ кмоль.

4. Определяем количество непревращенного H_2S : $2 - 0,2 = 1,8$ кмоль.

5. Поскольку для кислорода конверсия не указана, превращенный O_2 находим из пропорции на основании стехиометрического уравнения:

2 кмоль H_2S — 3 кмоль O_2 ,

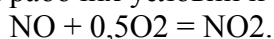
0,2 кмоль H_2S - X кмоль O_2 .

Отсюда $X = 0,2 \cdot 3/2 = 0,3$ кмоль.

6. Определяем количество непревращенного O_2 : $3 - 0,3 = 2,7$ кмоль.

Количество образовавшихся продуктов в соответствии со стехиометрией равны количеству превращенного H_2S , т.е. SO_2 и H_2O образовалось по 0,2 кмоль.

Пример 2. Рассчитать мольно-объемную концентрацию компонентов реакционной смеси для рабочих условий и стандартного состояния для реакции



Реакция протекает в газах, выходящих из реактора окисления аммиака и имеющих следующий состав, % моль: NO — 9; NO₂ — 1; N₂ — 82; O₂ — 8. Условия реакции: температура — 20°C, давление — $19,6 \cdot 10^4$ Н/м². Конверсия оксида азота $\alpha_{\text{NO}} = 80\%$.

Решение

1. Составим схему материальных потоков:

На входе: NO, NO₂, N₂, O₂ – 100 кмоль

На выходе: NO, NO₂, N₂, O₂

Внимание!

а) в исходной смеси уже содержится продукт реакции NO₂;

б) реакция протекает с уменьшением объема;

в) задаемся количеством исходной смеси газов 100 кмоль.

2. По уже известному алгоритму вычислим составы исходной и реакционной смесей.

Результаты приведены в таблице.

82

Расчет состава реакционной смеси

(кмоль/м³) • 10⁴

Компонент Исходная смесь, кмоль Кмоль, Стандартные условия, Рабочие условия

NO: $9 \cdot 9 - 0,8 \cdot 9 = 1,8$ 8,34 15,53

O₂: $8 \cdot 8 - 0,5 \cdot (0,8 \cdot 9) = 4,4$

20,38 37,97

N₂: 82 82 379,74 707,64

NO₂: $1 \cdot 1 + 7,2 = 8,2$ 37,97 70,76

Итого 100 96,4

3. Определим объем реакционной смеси в стандартных условиях:

$V_0 = 96,4 - 22,4 = 2159,36$ м³.

4. Для вычисления объема при рабочих температуре и давлении используем формулу приведения

$PV/T = P_0V_0/T_0$

где P, V, T и P₀, V₀, T₀ — параметры системы в рабочем и стандартном состояниях, соответственно. Тогда объем реакционной смеси составит:

$V = P_0V_0T/PT_0 = (9,8 \cdot 10^4 \cdot 2159,36 \cdot 273)/(19,6 \cdot 10^4 \cdot 237) = 1158,78$ м³

5. Определили молярную концентрацию оксида азота в стандартных условиях:

$C_{\text{NO}} = n_{\text{NO}}/V_0 = 1,8/2159,36 = 8,335 \cdot 10^{-4}$ кмоль/м³

6. Определим молярную концентрацию оксида азота при 20°C и давлении $19,6 \cdot 10^4$ Н/м²: $C_{\text{NO}} = n_{\text{NO}}/V = 1,8/1158,78 = 15,53 \cdot 10^{-4}$ кмоль/м³

7. Аналогично вычислим концентрацию остальных компонентов реакционной смеси.

Задачи для самостоятельного решения

1. В реакторе протекает реакция окисления метана $\text{CH}_4 + 0,5\text{O}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$. Реагенты загружают в мольном соотношении $\text{CH}_4:\text{O}_2 = 9:1$. Состав метансодержащего газа, % масс: метан — 95; азот — 5. Состав технического кислорода, % моль: кислород - 80; азот - 20. Рассчитать состав реакционной смеси в % мас., % моль и кмоль/м³ для конверсии кислорода, равной 80%.

2. В реакторе протекает реакция хлорирования метана $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 = \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$. Реагенты загружают в мольном соотношении $\text{CH}_4:\text{Cl}_2 = 3:1$. Состав природного газа, % моль: CH_4 — 98; C_2H_6 — 2. Этан считаем инертной примесью. Состав технического хлора, % масс.: Cl — 95; O₂ — 5. Рассчитать состав реакционной смеси в % масс., % моль и кмоль/м³ для конверсии хлора 95%.

Составление материальных балансов

Материальный баланс может быть представлен уравнением, левую часть которого составляет масса всех видов сырья и материалов, поступающих на переработку, а правую — масса получаемых продуктов плюс производственные потери $\Sigma G = \Sigma G' + G_{\text{пот}}$.

Основой материального баланса являются законы сохранения массы вещества и стехиометрических соотношений. Материальный баланс составляют по уравнению основной суммарной реакции с учетом побочных реакций согласно закону сохранения массы вещества. Общая масса всех поступающих в аппарат (или в цех) материалов, т. е. приход, равен общей массе выходящих материалов, т. е. расходу. Материальный баланс составляют на единицу массы основного продукта (кг, т) или на единицу времени (ч, сутки). Определение массы вводимых компонентов и полученных продуктов производится отдельно для твердой, жидкой и газообразной фаз согласно уравнению: $G_{\text{г}} + G_{\text{ж}} + G_{\text{т}} = G'_{\text{г}} + G'_{\text{ж}} + G'_{\text{т}}$.

В процессе не всегда присутствуют все фазы, в одной фазе может содержаться несколько веществ, что приводит к упрощению или усложнению уравнения. При составлении полного баланса обычно решают систему уравнений с несколькими неизвестными. При этом могут быть использованы соответствующие формулы для определения равновесного и фактического выхода продукта, скорости процесса и др. Теоретический материальный баланс рассчитывается на основе стехиометрического уравнения реакции. Для его составления достаточно знать уравнение реакции и молекулярные массы компонентов.

Практический материальный баланс учитывает состав исходного сырья и готовой продукции, избыток одного из компонентов сырья, степень превращения, потери сырья и готового продукта и т. д. Из данных материального баланса можно найти расход сырья и вспомогательных материалов на заданную мощность аппарата, цеха, предприятия, себестоимость продукции, выходы продуктов, объем реакционной зоны, число реакторов, производственные потери (непроизводительный расход сырья, материалов, готового продукта на разлив, утечку, унос).

На основе материального баланса составляют тепловой баланс, позволяющий определить потребность в топливе, величину теплообменных поверхностей, расход теплоты или хладагентов. Расчеты обычно выполняют в единицах массы (кг, т); можно вести расчет в молях. Только для газовых реакций, идущих без изменения объема, в некоторых случаях возможно ограничиться составлением баланса в кубических метрах.

Место материального баланса в проектной документации

Основным технологическим документом производства химического продукта является технологический регламент. Технологический регламент определяет оптимальный технологический режим, порядок проведения операций технологического процесса, обеспечивающий выпуск продукции требуемого качества, безопасные условия эксплуатации производства, а также требования по охране окружающей среды. Материальный баланс в технологическом регламенте помещается после описания технологической схемы и данных по правовой защите технологического процесса и основного оборудования.

Методика составления материального баланса

Выбор метода расчета материального баланса зависит от типа принятой технологической схемы (прямая или циркуляционная) и технологического класса реакций (простая или сложная, обратимая или необратимая). Прежде чем приступить к составлению материального баланса, следует иметь четкое представление о самом процессе, его стадиях, составе сырья, организационной структуре процесса и условиях его протекания. Исходные данные для расчета баланса приводятся в проектном задании. Основой для них служит проектируемый объем выпуска готовой продукции (производительность установки) либо пропускная способность установки по исходному сырью в натуральных единицах за год (млн т/год или тыс.т/год). Остальные данные (конверсия, выход продуктов, химические схемы, вид и состав сырья).

Алгоритм расчета материального баланса предусматривает выполнение следующего ряда операций:

1. Анализ исходных данных (проектное задание, технологический и экономический разделы технологического регламента) для получения необходимой информации о процессе, для которого рассчитывается материальный баланс.
2. Декомпозиция технологической схемы с целью выявления операторного состава и структуры.

3. Составление функциональной и операторной схем для определения числа и направлений материальных связей между подсистемами и операторами.

4. Составление химических уравнений реакций, протекающих в подсистеме (подсистемах) химического превращения. Каждую реакцию следует пронумеровать, затем этот номер использовать в описании стехиометрических расчетов. Сложные химические формулы веществ, участвующих в реакции, можно заменить буквами латинского алфавита. Над каждым компонентом уравнения реакции пишут его молекулярную массу. Руководствуясь законом сохранения материи, можно проверить правильность написания стехиометрического уравнения и при необходимости уточнить уравнение.

5. Выявление типа технологической схемы и классификация химической реакции по типу механизма для выбора метода расчета баланса.

6. Составление схемы материальных потоков на основании функциональной или операторной схемы. В случае использования операторной схемы из нее исключают те операторы, в которых не изменяются состав и масса потока (подогреватели, холодильники, емкости и пр.). Схема материальных потоков является общепринятым методом количественного описания взаимосвязи потоков сырья, продуктов, вспомогательных материалов и отходов на всем протяжении процесса. Эта схема представляет собой взвешенный ориентированный граф, вершинами которого служат подсистемы (операторы), а ребрами — материальные потоки, связывающие их. Направление потоков указывают стрелками. Материальные потоки, поступающие в подсистему (оператор), изображают прямыми линиями, сходящимися в вершине графа, а потоки, покидающие оператор (подсистему) — расходящимися линиями. Разрешается взамен схемы материальных потоков использовать операторные схемы. Над каждым потоком указывается «цена», т.е. все известные данные о потоке (масса, качественный и количественный составы, параметры состояния газов).

7. Определение качественного состава сырьевых и продуктовых потоков выполняется на основе анализа состава сырья, реакционной схемы и технологического показателя — конверсии (доли превращенного сырья).

8. Подбор единиц расчета баланса, физических и химических констант, технологических показателей.

9. Расчет недостающих данных. Чтобы составить баланс нужно знать массу потоков, входящих в систему и покидающих ее. Масса каждого потока складывается из масс составляющих его компонентов. Если масса потока или отдельных его компонентов неизвестна, то прибегают к ее расчету, используя стехиометрию реакции и исходные данные о процессе. Расчет производят на основе стехиометрических уравнений реакций, оперируя количествами исходных веществ, расходуемых в реакции, и количествами получаемых продуктов. Вычисления ведут в расчете на чистые (100 %-ные) реагенты и продукты. Примеси сырья, исключенные из этой стадии расчета, учитывают при составлении окончательного баланса.

Материальный баланс рассчитывают только в единицах массы (кг или т). Однако в качестве промежуточной единицы расчета лучше использовать киломоли, причем число киломолей, поданных в процесс или полученных в ходе процесса, следует считать с точностью до третьего или четвертого знаков, что в дальнейшем обеспечит лучшую сходимость приходной и расходной частей баланса. Перевод киломолей в килограммы выполняют только для компонентов потоков, представляющих внешние связи системы (вход-выход).

10. Составление общего материального баланса и представление его в удобной для выполнения дальнейших расчетов форме.

Форма представления материального баланса. Материальный баланс может быть представлен в форме уравнения, таблицы или диаграммы. Наиболее часто материальный баланс представляют в виде таблицы. Частный и элементарный балансы, а также экономикоматематическую модель приводят обычно в форме уравнения.

Материальный

баланс

производства

(наименование продукта)

Приход Расход

№ п/п Компонент кг/ч % масс. № п/п Компонент кг/ч % масс.

Таблица материального баланса состоит из двух частей. Левая часть именуется приходной и обозначается словами «Приход» или «Подано». Здесь записываются все сырьевые потоки, поступающие в ХТС, подсистему или отдельный аппарат, с покомпонентной расшифровкой.

Правая часть именуется расходной и обозначается словами «Расход» или «Получено». В этой части баланса записывают все потоки, покидающие ХТС, подсистему (установку) или отдельный аппарат. Сюда относятся потоки продуктов (целевого и побочных), непревращенного сырья и потери. Следует подчеркнуть, что в расходной части записывают массу непревращенного сырья, т.е. его остаток. Израсходованное _____ на реакцию сырье определяют как разность между поданным на переработку сырьем и его остатком, т.е. разность между приходной и расходной частями баланса. Таким образом, слово «Расход» для обозначения правой части баланса вовсе не означает, что здесь перечислены вещества, израсходованные в процессе. Просто наименование заимствовано технологией из бухгалтерской терминологии, но потеряло первоначальный смысл.

Под первым номером в расходной части баланса записывают целевой продукт, на последнем помещают потери. Не следует размещать компоненты реакционных смесей как простую последовательность веществ. Лучше компоновать их по принадлежности к отдельным потокам: газообразному, жидкому или твердому.

Отдельные слагаемые приходной и расходной частей называют статьями баланса. Приходная часть должна равняться расходной. В случае неравенства частей баланса следует установить причины расхождения — «невязки» — баланса. Они могут быть разными: не принятые во внимание примеси сырья, неучтенные потери, в том числе испарение, утечки через неплотности, «мертвые» остатки в резервуарах, ошибки анализа при определении покомпонентного состава потоков, невысокий класс точности расходомерных устройств. Среди других причин могут быть заимствование данных для расчета из источников разной степени надежности, ошибки в расчетах, связанные чаще всего с округлением результатов. Чтобы отличить элементарные арифметические ошибки от систематической ошибки счета определяют величину относительной погрешности, которая считается приемлемой, если составляет 2—3 %.

Ниже дан пример расчета относительной погрешности.

Брутто-баланс рассчитывают только в единицах массы. Остальные столбцы таблицы используют для получения информации о составе потоков, выраженном в других абсолютных и относительных единицах (кмолях, м³ % мол. или % об. или кмоль/м³) для удобства последующих расчетов, поскольку указанную информацию лучше сосредоточить в одном месте.

Табличная форма баланса не дает возможности проследить связи между отдельными потоками и аппаратами, т.е. не позволяет выявить структуру системы или отдельных ее элементов.

Указанный недостаток ликвидируется при использовании диаграммной формы баланса. В этом случае материальные потоки изображают в форме полос, толщина которых соответствует мощности потока.

Особенности составления материального баланса для различных типов технологических схем. Технологические схемы классифицируют по ряду признаков: организационной структуре процесса, технологическим маршрутам материальных потоков, числу химических стадий, номенклатуре выпускаемой продукции, способам рекуперации энергии, уровню экологизации и др. Каждая схема обладает признаками нескольких классов. В методике расчета баланса для некоторого типа схем есть свои отличия. Прежде всего это касается первых двух типов. В зависимости от организационной структуры процесса различают периодические и непрерывные схемы. В периодической схеме сырье загружают в реактор, где его выдерживают при заданных условиях до заданной конверсии. Продукты выгружают и процесс повторяется снова. В связи с тем, что состав реакционной смеси в таком реакторе изменяется во времени,

расчет выполняют на весь производственный цикл аппарата. В качестве единицы расчета используют килограммы или тонны на цикл.

В непрерывных схемах технологические операции проводят в разных аппаратах в потоке непрерывно движущегося через них сырья со скоростью. Достаточной для обеспечения заданной конверсии. Методика составления материального баланса от предыдущей отличается только единицами измерения: кг/час.

В методике расчета материальных балансов для разного класса реакций и технологических схем имеется ряд особенностей. По типу механизма в технологической классификации различают необратимые и обратимые, простые и сложные реакции.

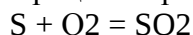
СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ БАЛАНСОВ НЕОБРАТИМЫХ ХИМИКО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В основе расчета материального баланса необратимых реакций лежат законы сохранения массы и стехиометрических соотношений. При расчете баланса сложных необратимых реакций для определения состава реакционной смеси, кроме конверсии, следует учитывать селективность процесса. При расчете параллельной реакции следует определить расход сырья на все реакции. В обе части уравнения должны входить массы инертных примесей

Пример 1. Составить материальный баланс печи для сжигания серы производительностью 60 т/сутки. Степень окисления серы 0,95 (остальная сера возгоняется и сгорает вне печи). Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,5$ * (Коэффициент избытка воздуха (кислорода) характеризует отношение практически подаваемого в печь воздуха к теоретически необходимому согласно уравнению реакции). Состав воздуха, % об.: O₂ – 21, N₂ – 79. Расчет следует вести на производительность печи по сжигаемой сере в кг/ч.

Решение.

Процесс горения серы описывается уравнением реакции



производительность печи

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

Количество окисленной до SO₂ серы

$$2500 \cdot 0,95 = 2375 \text{ кг}$$

Осталось в виде паров неокисленной серы

$$2500 - 2375 = 125 \text{ кг}$$

Израсходовано кислорода на окисление

$$VO_2 = (2375 \cdot 22,4)/32 = 1670 \text{ м}^3$$

С учетом коэффициента избытка α

$$1670 \cdot 1,5 = 2500 \text{ м}^3 \text{ или } (2500 \cdot 32)/22,4 = 3560 \text{ кг O}_2$$

С кислородом поступает азота

$$VN_2 = (2500 \cdot 79)/21 = 9450 \text{ м}^3 \text{ или } (9450 \cdot 28)/22,4 = 11800 \text{ кг}$$

Образовалось в результате реакции двуокиси серы

$$(2375 \cdot 64)/32 = 4750 \text{ кг или } VSO_2 = 4750/64 = 22,4 = 1675 \text{ м}^3$$

Осталось неизрасходованного кислорода

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

Полученные данные сводим в таблицу:

Материальный баланс печи для сжигания серы (1 ч)

Приход	Расход	Исходное вещество	кг	м ³	Продукт	кг	м ³
--------	--------	-------------------	----	----------------	---------	----	----------------

S	2500	S	125				
---	------	---	-----	--	--	--	--

O ₂	3560	SO ₂	4750	1670			
----------------	------	-----------------	------	------	--	--	--

N ₂	11800	O ₂	1185	835			
----------------	-------	----------------	------	-----	--	--	--

N ₂	11800	9450					
----------------	-------	------	--	--	--	--	--

Итого	17860	11950	Итого	17860	11955		
-------	-------	-------	-------	-------	-------	--	--

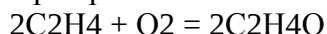
Пример 2. Составить материальный баланс производства окиси этилена прямым каталитическим окислением этилена воздухом. Состав исходной газовой смеси в % (об.):

этилен — 3, воздух — 97. Состав воздуха, % об.: O₂ – 21, N₂ – 79. Степень окисления этилена $x = 0,5$. Расчет следует вести на 1 т окиси этилена.

Решение. Окись этилена является одним из важнейших полупродуктов, имеющих широкое применение в различных синтезах — для получения этиленгликоля, полигликолей, лаковых растворителей, пластификаторов, этаноламинов, различных эмульгирующих и моющих средств; соединения, синтезируемые из окиси этилена, находят применение в производстве синтетических волокон, каучуков и других продуктов.

В настоящее время применяются два основных метода получения окиси этилена:

1. Гипохлорирование этилена с последующим отщеплением хлористого водорода от получающегося этиленхлоргидрина.
2. Прямое каталитическое окисление этилена. При пропускании смеси воздуха с этиленом (нижний предел взрываемости этиленовоздушной смеси — 3,4% C₂H₄) на серебряном катализаторе при 250—280°C образуется окись этилена:



Окись этилена из газовой смеси выделяют водной абсорбцией, а остаточный газ направляют во 2-й контактный аппарат.

По уравнению реакции находим расход этилена на 1 т окиси этилена. Из 28 кг этилена образуется 44 кг C₂H₄O или расход C₂H₄ на 1000 кг окиси этилена составит:

$$(28 \cdot 1000)/44 = 640 \text{ кг}$$

С учетом степени окисления:

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

Объем воздуха в этиленовоздушной смеси составит

$$(1020 \cdot 97)/3 = 33000 \text{ м}^3$$

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

$$(6800/22,4) \cdot 32 = 9700 \text{ кг}$$

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

$$(26200/22,4) \cdot 28 = 32500 \text{ кг}$$

Израсходовано кислорода на окисление

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

В продуктах окисления содержится кислорода:

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

Результаты расчетов сведены в таблицу:

Материальный баланс на 1 т окиси этилена

Приход	Расход	Исходное вещество	кг
--------	--------	-------------------	----

м³ Продукт

Этилен 1280 1020 Окись этилена 1000 510

Воздух Этилен 640 510

в том числе: Кислород 9340 6545

Кислород 9700 6800 Азот 32500 26200

Азот 32500 26200

Итого: 43480 34020 Итого: 43480 33765

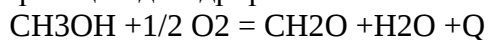
Пример 3. Составить материальный баланс реактора для каталитического окисления метанола в формальдегид. Производительность реактора 10000 т/год. CH₂O. Степень превращения CH₃ОН в CH₂O 0,7. Общая степень превращения метанола 0,8 (с учетом побочных реакций).

Содержание метанола в спирто-воздушной смеси – 40% (об.). Мольное соотношение побочных продуктов в продукционном газе НСООН; СО₂; СО; СН₄ равно 1,8; 1,6; 0,1; 0,3. Агрегат работает 341 день в году (с учетом планово-предупредительного ремонта и простоев).

Окисление ведется на твердом серебряном катализаторе при 600°C. Расчет ведется на производительность реактора в кг/час.

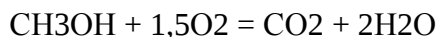
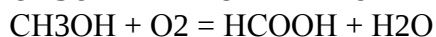
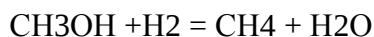
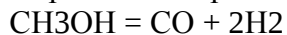
Решение.

Формальдегид получают главным образом окислением метанола воздухом. Процесс окисления проводят при 550-600°C на серебряном катализаторе. При этом одновременно протекают реакции дегидрирования метанола и его окисление:



Обычно на реакцию подают лишь около 80% воздуха от количества, соответствующего мольному отношению метанол: кислород = 2:1 и проводят процесс с неполным сгоранием образовавшегося водорода по реакции $\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + Q$. Выходящие газы содержат 20-21% формальдегида, 36-38% азота и примеси в виде CO, CO₂, CH₄, H₂, CH₃OH, HCOOH и др.

Образование примесей можно представить следующим образом:



Вся эта смесь после охлаждения до 60°C поступает в поглотительную башню, орошаемую водой. Полученный в результате раствор формалина содержит 10-12% метанола, который в данном случае является желательной примесью, так как препятствует полимеризации формальдегида.

Производительность реактора окисления метанола

$$10000/(341 \cdot 24) = 1220 \text{ кг/ч или } 1220/30 = 40,7 \text{ кмоль/ч}$$

Для получения такого количества формальдегида необходимо метанола:

$$(1220 \cdot 32)/(30 \cdot 0,7) = 1860 \text{ кг или } 1860/32 = 58,12 \text{ кмоль}$$

Объем паров метанола составит:

$$(18600/32) \cdot 22,4 = 1300 \text{ м}^3$$

Объем спирто-воздушной смеси:

$$(1300/0,4) = 3250 \text{ м}^3$$

С ней поступает воздуха $3250 - 1300 = 1950 \text{ м}^3$. В том числе кислорода $1950 \cdot 0,21 = 410 \text{ м}^3$ или 586 кг, азота $1930 \cdot 0,79 = 1540 \text{ м}^3$ или 1920 кг.

В состав газовой продукционной смеси входит CH₂O, неокисленный CH₃OH, азот и побочные продукты: HCOOH, CO₂, CO, CH₄, H₂, а также водяной пар.

Образуется CH₂O – 40,7 кмоль. На образование одного моля любого из побочных продуктов расходуется по 1 моль CH₃OH. Всего на образование побочных продуктов израсходовано метанола:

$$58,12 \cdot 0,8 - 40,7 = 5,8 \text{ кмоль}$$

Остается неокисленным в составе продукционных газов:

$$58,12 \cdot 0,2 = 11,6 \text{ кмоль или } 372 \text{ кг CH}_3\text{OH}$$

Образовалось в соответствии с заданным мольным соотношением

$$\text{HCOOH}; \text{CO}_2; \text{CO}; \text{CH}_4 = 1,8; 1,6; 0,1; 0,3 \text{ (всего } 3,8)$$

$$\text{HCOOH } (5,8 \cdot 1,8)/3,8 = 2,75 \text{ кмоль или } 126,5 \text{ кг}$$

$$\text{CO}_2 (5,8 \cdot 1,6)/3,8 = 2,45 \text{ кмоль или } 108 \text{ кг}$$

$$\text{CO } (5,8 \cdot 0,1)/3,8 = 0,158 \text{ кмоль или } 4,3 \text{ кг}$$

$$\text{CH}_4 (5,8 \cdot 0,3)/3,8 = 0,459 \text{ кг}$$

Для определения количества водяного пара и водорода в газах синтеза составляется баланс по кислороду и водороду.

Баланс по кислороду

В реактор поступило кислорода (в кг):

С воздухом 586

$$\text{В составе CH}_3\text{OH } (1860 \cdot 16)/32 = 930$$

Всего 1516 кг

Израсходовано кислорода:

$$\text{На образование CH}_2\text{O } (1220 \cdot 16)/30 = 650 \text{ кг}$$

$$\text{На образование HCOOH } (126,5 \cdot 32)/46 = 88 \text{ кг}$$

На образование CO_2 $(108 \cdot 32)/44 = 78,6$ кг

На образование CO $(4,3 \cdot 16)/28 = 2,45$ кг

В составе неокисленного метанола:

$(372 \cdot 16)/32 = 186$ кг

Всего израсходовано кислорода: $650 + 88 + 78,6 + 2,4 + 186 = 1005$ кг

Остальное количество кислорода, равное $1516 - 1005 = 509$ кг, пошло на образование воды.

В результате получено $(509 \cdot 18)/16 = 572$ кг воды

Баланс по водороду

Количество водорода, поступающего в реактор:

$(1860 \cdot 4)/30 = 233$ кг

Расходуется на образование:

CH_2O $(1220 \cdot 2)/30 = 81,5$ кг

HCOOH $(126,5 \cdot 2)/46 = 5,5$ кг

CH_4 $(7,3 \cdot 4)/16 = 1,82$ кг

H_2O $(572 \cdot 2)/18 = 63,6$ кг

В составе неокисленного метанола:

$(372 \cdot 4)/32 = 46,5$ кг

Всего расходуется водорода: $81,5 + 5,5 + 1,82 + 63,6 + 46,5 = 198,92$ кг

Остальное количество водорода входит в состав контактных газов в свободном состоянии $233 - 198,92 = 34,08$ кг

Результаты расчетов сведены в таблицу:

Приход Расход Исходное вещество кг продукт кг

Спирто-воздушная смесь: CH_2O 1220 CH_3OH 1860 CH_3OH 372 O_2 586 H_2O 572

N_2 : 1920 HCOOH 126,5

CO_2 : 108

CO : 4,3

CH_4 : 7,3

H_2 34,08

N_2 : 1920

Итого: 4366 Итого: 4364,18

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Составить материальный баланс производства анилина каталитическим восстановлением нитробензола водородом при 270°C и давлении 0,15 МПа. Состав технического нитробензола, % масс.: нитробензол – 98,5, бензол – 1,5. Содержание водорода в сырье (примесь – N_2), % об.: 97. Мольное соотношение нитробензол:водород = 1:3. Потери нитробензола, % масс. От поданного – 1. Конверсия нитробензола – 99%. Нагрузка установки по нитробензолу 20 т/сут. $\text{C}_6\text{H}_5\text{-NO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

2. Составить материальный баланс производства сульфида натрия. Процесс протекает по следующему уравнению реакции:

$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2 = \text{Na}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$. Производительность установки по сульфиду натрия 6 т/сут. Состав технического Na_2SO_4 , % масс.: Na_2SO_4 – 95, NaCl – 3,2, Fe – 1,8. Состав технического водорода, % об.: H_2 – 97, N_2 – 2,4, Cl – 0,6. Конверсия Na_2SO_4 96%. Избыток водорода, т стехиометрии 200% (масс.).

3. Составить материальный баланс получения малеинового ангидрида путем взаимодействия паров бутан-бутиленовой фракции (ББФ) с воздухом на ванадиевом катализаторе при $427-482^\circ\text{C}$ и давлении 0,15 Мпа. Пропускная способность по ББФ 1000 м³/сут. Состав ББФ, % об.: бутен – 80, бутан – 20. Объемное соотношение воздух:бутен = 75:1. Потери бутена 2 % масс. от поданного. Конверсия бутена 85%.

РАВНОВЕСИЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВВЕДЕНИЕ

Наряду с химическим взаимодействием между исходными веществами — прямой реакцией происходит химическое взаимодействие и между продуктами реакции, т. е. обратная реакция. По мере протекания процесса скорость прямой реакции уменьшается, в то время как скорость обратной реакции увеличивается. При равенстве этих скоростей наступает химическое равновесие, неизменное при постоянных условиях — концентрации реагентов, температуре и давлении.

Для реакции $mA + nB = pC + qD$ в состоянии равновесия отношение $([C]^p[D]^q)/([A]^m[B]^n) = k_1/k_2 = K$ или $([A]^m[B]^n)/([C]^p[D]^q) = k_2/k_1 = K^{-1} = 1/K$

где K — константа равновесия, значение которой для данной реакции изменяется в зависимости от температуры.

Зависимость константы равновесия от температуры определяется по уравнению Вант-Гоффа:

$$d \ln K_p / dT = q_p / RT^2$$

где q_p — тепловой эффект реакции; температурная зависимость которого определяется из уравнения Кирхгофа.

Для расчета зависимости константы равновесия от температуры подставляем в уравнение значение $q_p = f(T)$ и получаем после интегрирования степенной ряд, заканчивающийся постоянной интегрирования. В зависимости от того, в каких единицах выражены концентрации реагентов — исходные и конечные — константа равновесия может быть определена через концентрации, давления, объемы или молях.

Между K_c , K_p и K_N существует зависимость

$$K_c = K_p / RT^{\Delta N} = K_p / PV^{\Delta N} = K_N / V^{\Delta N}$$

где $\Delta N = \nu_1 - \nu_2$, а $\nu_1 = q + p$; $\nu_2 = m + n$; R — газовая постоянная.

Можно также рассчитать константы равновесия в условиях высоких давлений, исходя из летучестей компонентов. Отклонение реальных газов от состояния идеальных при высоких давлениях может характеризоваться величиной активности вещества. Активность вещества определяет энергию Гиббса моля вещества, переходящего из стандартного состояния в равновесное. Коэффициент активности вещества γ пропорционален летучести f : $\gamma = f/P$

При низких давлениях можно приравнять летучесть к давлению. Летучесть характеризует отклонение реального газа от идеального состояния. Для реальных газов можно в уравнение идеального газа вместо давления подставлять значения летучести. Значение коэффициента активности газа зависит также от коэффициента сжимаемости газов c :

$$c = PV/RT \text{ или } V = c(RT/P)$$

Для реальной системы при давлениях больше $(30-40) \cdot 10^4$ Па константа равновесия может быть выражена как $K_f = K_p \gamma_P$

Коэффициент K_f не зависит от давления, коэффициент же K_p для равновесной смеси реальных газов зависит от давления и по мере уменьшения его стремится к значениям K_f , поскольку снижение давления означает приближение к идеальному состоянию. Значение константы равновесия зависит от вида стехиометрического уравнения реакции. Возможны различные варианты написания одной и той же реакции и различные числовые значения константы одного и того же равновесия. Поэтому необходимо, чтобы запись числового значения константы равновесия сопровождалась записью соответствующих уравнений реакции и константы равновесия.

При технологических расчетах константу равновесия часто определяют с помощью величин изотермических потенциалов — энергии Гиббса при постоянном давлении G или при постоянном объеме F . При стандартных условиях (активность газообразных компонентов $\gamma=1$) уравнения изотермы реакции, связывающие величину константы равновесия с изменением соответствующего изотермического потенциала, имеют вид:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_p$$

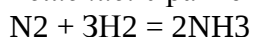
$$\Delta F^\circ = -RT \ln K_c$$

Эти уравнения применимы для любой температуры. В качестве стандартной обычно принимают 25°C (298 К). Величины ΔG° и ΔF° определяют как разность изотермических потенциалов образования конечных продуктов и исходных веществ. Необходимые для этих расчетов величины энтропии, теплот образования компонентов химических реакций и постоянных интегрирования для стандартных условий определяют с помощью таблиц, имеющих в справочниках.

РАСЧЕТ КОНСТАНТ РАВНОВЕСИЯ И РАВНОВЕСНОГО ВЫХОДА ПРОДУКТА

Пример 1. Синтез аммиака осуществляется в колонне под давлением 3,03-107 Па (300 атм) и при температуре 450°C. Газ, выходящий из колонны, имеет следующий состав в % (об.): NH₃ — 17,0; N₂ — 11,0; H₂ — 72,0. Рассчитать соотношение N₂ и H₂ в исходном газе, поступающем в колонну синтеза.

Решение. Уравнение реакции синтеза NH₃



По условию в равновесной смеси содержится 17% NH₃ или 0,17 моль приходится на долю аммиака в 1 моль газа. Согласно уравнению реакции, для получения этого количества NH₃ расходуется

$$\text{N}_2 0,17/2 = 0,085 \text{ моль}$$

$$\text{H}_2 (3 \cdot 0,17)/2 = 0,225 \text{ моль}$$

Содержание реагентов в исходном газе

$$\text{N}_2 0,11 + (0,17/2) = 0,195 \text{ моль}$$

$$\text{H}_2 0,72 + (0,17 \cdot 3)/2 = 0,975 \text{ моль}$$

$$\text{Итого: } 1,17 \text{ моль}$$

или

$$\text{N}_2 (0,195/1,17) \cdot 100 = 16,7\% \text{ (об.)}$$

$$\text{H}_2 (0,975/1,17) \cdot 100 = 83,3\% \text{ (об.)}$$

$$\text{Соотношение N}_2 \text{ и H}_2 \text{ в исходной смеси } 16,7 : 83,3 = 1 : 5.$$

Пример 2. При синтезе хлористого водорода, проводимого с 10%-ным избытком H₂ по отношению к стехиометрическому количеству, в газе, выходящем из аппарата, содержится 80% HCl. Рассчитать величину K_c для заданных условий.

Решение.

Синтез хлористого водорода производится из хлора и водорода, получаемых при электролизе водного раствора NaCl. Водород сгорает в хлоре по экзотермической реакции:



Синтез производят в печи при 2300—2400°C при 5—10%-ном избытке водорода в исходной смеси, обеспечивающем безопасность процесса и полное использование хлора.

По условию на 1 моль хлора приходится 1,1 моль водорода. Так как процесс идет без изменения объема, то объем смеси в момент равновесия составит 2,1 моль. Состав равновесной смеси:

$$\text{HCl } 2,1 \cdot 0,8 = 1,68$$

$$\text{Cl}_2 1 - (1,68/2) = 0,16$$

$$\text{H}_2 1,1 - (1,68/2) = 0,26$$

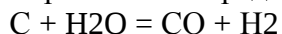
$$K_c = [\text{HCl}]^2/([\text{H}_2][\text{Cl}_2]) = [1,68/2,1]^2/([0,16/2,1][0,26/2,1]) = 69$$

Пример 3. Определить равновесный выход окиси углерода в процессе газификации каменного угля водяным паром при $t_1 = 500^\circ\text{C}$ и $t_2 = 700^\circ\text{C}$, если $\lg p_{\text{H}_2\text{O}}/p_{\text{CO}}p_{\text{H}_2}$ соответственно 1,67 и 0,13. $P = 10,1 \cdot 10^4 \text{ Па}$ (1 ат).

Решение.

Газификация каменного угля (любого твердого топлива) — высокотемпературный гетерогенный процесс, при котором органическая часть угля превращается в горючие газы при не-

полном окислении кислородом или водяным паром. Процесс газификации каменного угля водяным паром можно представить уравнением:



Обозначим равновесное содержание окиси углерода в смеси через x_p

$$K_p = p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2} / p_{\text{H}_2\text{O}} = x_p$$

$$2/(1 - 2x_p)$$

при 500°C

$$\lg K_p = 1,67; K_p = 46,7; K_p = 1/46,7 = 0,0214;$$

x_p

$$2/(1 - 2x_p) = 0,0214;$$

$$x_p + 0,0428x_p - 0,0214 = 0; x_p$$

$$500 = 0,12$$

при 700°C

$$\lg K_p = -0,13; K_p = 0,74; K_p = 1/0,74 = 1,35;$$

x_p

$$2 + 2,7x - 1,35 = 0; x_p$$

$$700 = 0,42$$

РАСЧЕТЫ СОСТАВА РЕАКЦИОННЫХ СМЕСЕЙ И СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, ОСНОВАННЫХ НА ОБРАТИМЫХ РЕАКЦИЯХ

Пример 1. В процессе прямой гидратации этилена на фосфорном катализаторе (в производстве этанола) при $t = 300^\circ\text{C}$ и $P = 80 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (80 ат) 10% (об.) этилена превращается в этанол. Найти состав газа и условную константу равновесия, пренебрегая побочными реакциями.

Решение.

По реакции:



В исходном газе (на 1 моль) содержится по 0,5 моль исходных реагентов. К моменту окончания реакции прореагировало по $0,5 \cdot 0,1 = 0,05$ моль исходных реагентов и образовалось 0,05 моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. В газе содержится по $0,5 - 0,05 = 0,45$ моль C_2H_4 и водяного пара. Всего на 1 моль исходного газа образовалось $0,45 + 0,45 + 0,05 = 0,95$ моль газа. Его состав (в %об.):

$$\text{Этилен } (0,45/0,95) \cdot 100 = 47,4$$

$$\text{Водяной пар } 47,4$$

$$\text{Этанол } 5,2$$

$$\text{Итого: } 100,0$$

Константа равновесия:

$$K_p = p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} / (p_{\text{C}_2\text{H}_4} \cdot p_{\text{H}_2\text{O}}) = (0,052 \cdot 80 \cdot 10^5) / (0,4742 \cdot 802 \cdot 1010) = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ Па}$$

($2,9 \cdot 10^{-3}$ ат)

Пример 2. Исходная смесь для окисления хлористого водорода содержит в % (об.): HCl — 35,5; воздуха — 64,5. Процесс окисления протекает при $P = 10^5 \text{ Па}$ (1 ат) и $t = 370^\circ\text{C}$ на окисном хромовом катализаторе. По окончании реакции в газе содержится 13,2% Cl_2 . Рассчитать равновесный состав газовой смеси и значение константы равновесия.

Решение.

Окисление хлористого водорода в присутствии катализаторов используется с целью утилизации отходящих газов после хлорирования органических веществ. Газы, полученные при окислении HCl , содержат хлор, который можно использовать как исходный реагент многих органических синтезов. Реакция окисления хлористого водорода может быть представлена уравнением: $4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Согласно условию, исходная смесь содержит в % (об.): HCl — 35,5; O_2 — $64,5 \cdot 0,21 = 13,5$; N_2 — $64,5 \cdot 0,79 = 51,0$.

В момент равновесия в 1 моль окисленной смеси будет содержаться: Cl_2 — 0,132 моль; H_2O — 0,132 моль; $\text{HCl} + \text{N}_2 + \text{O}_2 = 1 - 0,264 = 0,736$ моль.

Процесс идет с уменьшением объема. Для получения 1 моль равновесной смеси количество исходной смеси составит: 0,736 моль, приходящихся на долю HCl , O_2 и N_2 + количество HCl и O_2 , израсходованных на образование 0,132 моль Cl_2 и 0,132 моль H_2O .

Таким образом:

HCl 0,264 моль

O_2 $0,264/4 = 0,066$ моль

Итого: 0,330 моль т. е. количество исходной смеси составит:

$0,736 + 0,330 = 1,066$ моль

в том числе:

HCl $1,066 \cdot 0,355 = 0,379$

O_2 $1,066 \cdot 0,135 = 0,144$

N_2 $1,066 \cdot 0,510 = 0,543$

В момент равновесия в смеси содержится (в моль):

HCl $0,379 - 0,264 = 0,115$

O_2 $0,144 - 0,066 = 0,078$

N_2 0,543

Cl_2 0,132

H_2O 0,132

Парциальные давления компонентов смеси в момент равновесия:

$p_{\text{H}_2\text{O}} = p_{\text{Cl}_2} = 105 \cdot 0,132 = 0,132 \cdot 105$ Па (0,132 ат)

$p_{\text{O}_2} = 105 \cdot 0,078 = 0,078 \cdot 105 =$ Па (0,078 ат)

$p_{\text{HCl}} = 105 \cdot 0,115 = 0,115 \cdot 105$ Па (0,115 ат)

Значение константы равновесия I

$K_p = (p_{\text{Cl}_2}^2 p_{\text{H}_2\text{O}}^2) / (p_{\text{HCl}}^2 p_{\text{O}_2}) = (1010 \cdot 0,1322 \cdot 0,1322 \cdot 1010) / (1020 \cdot 0,1154 \cdot 0,078 \cdot 105) = 22,4 \cdot 105$ Па (22,4 ат).

Пример 3. Составить материальный баланс трубчатого конвертора метана для конверсии природного газа по следующим данным. Производительность агрегата по природному газу (идущему на конверсию) 4700 м³/ч. Состав природного газа в % (об.): CH_4 – 97,8; C_2H_6 – 0,5; C_3H_8 – 0,8; C_7H_{10} – 0,1; N_2 – 1,4. Отношение объемов водяной пар : газ в исходной парогазовой смеси (ПГС) – 2,5. Степень конверсии 67% по углероду, т.е. по углеводородной части газа. Реакции $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2 - 38,9$ кДж/моль

$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2 - 248,3$ кДж/моль

$\text{CH}_4 + 0,5\text{O}_2 = \text{CO} + 2\text{H}_2 + 34,8$ кДж/моль

$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 41,0$ кДж/моль

Соотношение $\text{CO} : \text{CO}_2$ в конвертированном газе можно принять отвечающим равновесию реакции 4 при температуре газа на выходе из конвертора, т.е. при 700°C, поскольку: а) равновесие этой реакции достигается быстрее, чем других, б) равновесие других реакций при этой температуре в значительно большей степени сдвинуто в сторону продуктов реакции. Примерные значения констант равновесия этих реакций при 700°C: реакция 1 – 25; реакция 2 – 20; реакция 3 – $3 \cdot 10^{11}$; реакция 4 – 1,54. Расчет производится на 100 м³ природного газа с последующим пересчетом на производительность в кг/ч.

Решение

Конверсия метана природного газа – метод производства водорода и азотоводородной смеси при синтезе аммиака. Это взаимодействие метана с водяным паром, диоксидом углерода и кислородом осуществляется чаще всего каталитически, в трубчатых или шахтных конверторах. Реакции 1 и 2 эндотермичны и процесс конверсии метана в целом происходит с поглощением теплоты. Необходимая теплота подводится в конвертор путем сжигания части природного газа до диоксида углерода и пара, а также по реакции 3 и 4, идущей с выделением тепла. Одно-

временно с метаном конвертируется до оксида углерода и водорода высшие углеводороды, содержащиеся в природном газе: C_2H_6 , C_3H_8 , C_7H_{10} .

Обозначим:

1) содержание компонентов в конвертированном газе (в м³) – V_{CO_2} , V_{CO} , V_{H_2} ;

2) количество водяного пара (в м³), вступившего в реакцию с углеводородом – V_{H_2O} .

Определим объем непрореагировавших углеводородов в конвертированном газе (в пересчете на CH_4): $(97,8 + 0,5 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4)(100 - 67)/100 = 32,9$ м³

Для определения состава конвертированного газа составим уравнения материального баланса (м³ на 100 м³ исходного газа) по содержанию каждого из элементов в природном и конвертированном газе.

А) Баланс по углероду

$$97,8 + 2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = V_{CO_2} + V_{CO} + 32,9 \text{ откуда } V_{CO_2} = 66,9 - V_{CO}$$

Б) Баланс по кислороду (с учетом того, что в исходной ПГС содержится $100 \cdot 2,5 = 250$ м³ водяного пара) $0,5 \cdot 250 = V_{CO_2} + 0,5 V_{CO} - 0,5 V_{H_2O} = 0$

В) Баланс по водороду $2 \cdot 97,8 + 3 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 250 = V_{H_2} + 2 \cdot 32,9 + (250 - V_{H_2O})$ откуда $V_{H_2} = V_{H_2O} + 132,6$

Поскольку соотношение между CO и CO_2 в конечном газе определяется условиями равновесия реакции 4 при 700°C, то можно записать:

$$K_p = (p_{CO_2} p_{H_2}) / (p_{CO} p_{H_2O}) = (V_{CO_2} V_{H_2}) / (V_{CO} V_{H_2O}) = 1,54$$

В этом случае $K_p = K_c = K_N$ и можно выразить константу равновесия через объемы компонентов в одном и том же объеме конвертированного газа, полученном из 100 м³ исходного).

В этих же уравнениях выразим объемы компонентов через V_{H_2O} и подставим эти выражения в уравнение K_p .

Для этого подставим значение V_{CO_2} и получим:

$$V_{CO} = 133,8 - V_{H_2O}$$

Подставляя в первое выражение значение V_{CO} из последнего получим:

$$V_{CO_2} = V_{H_2O} - 66,9$$

Подставляя в значения V_{CO_2} , V_{CO} и V_{H_2} выражения через V_{H_2O} получим:

$$(V_{H_2O} - 66,9)(V_{H_2O} + 132,6) / (133,8 - V_{H_2O})(V_{H_2O}) = 1,54$$

Решение этого уравнения

$$101$$

$$V_2$$

$$H_2O - 66,9 V_{H_2O} + 132,6 V_{H_2O} - 8871 = 51500 - 385 V_{H_2O} - 206 V_{H_2O} + 1,54 V_2$$

$$H_2O - 0,54 V_{H_2O} - 657$$

$$V_{H_2O} + 60371 = 0$$

$$V_{H_2O} - 1216 V_{H_2O} + 111800 = 0$$

$$V_{H_2O} = 1216/2 \pm \sqrt{(1216/2)^2 - 111800} = 608 \pm 508$$

$$V_{H_2O} = 100 \text{ м}^3$$

Находим содержание остальных компонентов в конвертированном газе:

$$V_{CO_2} = 100 - 66,9 = 33,1 \text{ м}^3$$

$$V_{CO} = 133,8 - 100 = 33,8 \text{ м}^3$$

$$V_{H_2} = 100 + 132,6 = 232,6 \text{ м}^3$$

$$\text{Осталось в газе водяного пара } 250 - 100 = 150 \text{ м}^3$$

Состав газа после конверсии приведен в таблице:

Компонент Влажный газ Сухой газ

м³ % (об.) м³ % (об.)

CH_4 32,9 6,8 32,9 9,90

H_2 232,6 48,07 232,6 69,60

CO 33,8 7,0 33,8 10,15

CO_2 33,1 6,84 33,1 9,93

N_2 1,4 0,29 1,4 0,42

H_2O 150,0 31,0 - -

Итого 483,8 100,0 333,8 1000

По этим данным составляем материальный баланс конвертора метана:

Приход Расход

Исходное вещество Продукт реакции

Природный газ Сухой конвертированный газ

CH₄ 3290,00 4596,60 CH₄ 1104,50 1546,3

C₂H₆ 31,50 23,50 H₂ 977,60 10,932,2

C₃H₈ 18,30 9,40 CO 1992,80 1588,6

C₇H₁₀ 12,20 4,70 CO₂ 3057,40 1555,7

N₂ 82,20 65,80 N₂ 82,20 65,8

Водяной пар 3434,20 4700,00 Водяной пар 7214,50 15688,6

9447,0 11750,0 5663,50 7050,0

Итого 12881,2 16450,0 Итого 12878,00 22738,6

Неувязка в балансе 3,2 кг за счет неточности расчетов составляет около 0,02 %.

102

Задачи для самостоятельного решения

1. Равновесная степень диссоциации фосгена при $t = 527^\circ\text{C}$ и $P = 1,01 \cdot 10^5 = \text{Па}$ — $X_p = 0,75$. Определить K_p и K_c в этих условиях.

2. В лабораторном реакторе объемом 6 л находится 9,2 г N₂O₄ при $t = 111^\circ\text{C}$ и $P = 105 \text{ Па}$. Определить константу равновесия (K_p) реакции: $\text{N}_2\text{O}_4 = 2\text{NO}_2$

3. При взаимодействии двуокиси углерода с углеродом (доменный процесс, газификация твердого топлива) при $t = 1000^\circ\text{C}$ и $P = 30 \cdot 10^5$ в равновесном газе содержится 17% (об.) CO₂. Определить содержание CO₂ в равновесном газе при $20 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

4. Конверсия окиси углерода с водяным паром по реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 36,6 \text{ кДж}$ осуществляется при 500°C . Определить состав равновесной газовой смеси в % (об.), если исходное количество водяного пара (в моль) было в 2 раза больше, чем окиси углерода, а $K_p = 1$.

5. Газовая смесь состава (в % (об.)): CO — 20; N₂ — 80 пропускается при 1000°C и $P = 105 \text{ Па}$ над окисью железа. В соответствии с реакцией $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$ определить массу образующегося железа на 1000 м³ газа и состав равновесного газа, если $K_c = 0,403$.

2.3. Задания и методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

МЕТОДИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом РосЗИТЛП дисциплина «Общая химическая технология» изучается на 4 курсе полной программы обучения.

Основной формой изучения курса является самостоятельная работа с рекомендуемой литературой по разделам и темам, руководствуясь в их изучении методическими указаниями,

представленными непосредственно после соответствующего раздела или темы. После изучения

каждого раздела рекомендуется проработать и ответить на все вопросы для самопроверки,

представленные после соответствующего раздела.

Работая с рекомендуемой литературой, необходимо составить конспект, который представляет собой краткое изложение своими словами научных основ дисциплины с

приведением формул, схем, графиков и прочих материалов, иллюстрирующих или поясняющих

те или иные разделы курса. Особенно важно, когда студент критически излагает содержание

прочитанного с учетом собственного технологического опыта.

Предварительная проработка литературы по программе курса позволит студенту грамотно выполнить контрольные работы и приступить к лекционным занятиям с определенными знаниями, без которых сложно усвоить большой объем материала в сжатые

сроки очных занятий.

После проработки и конспектирования требуемой литературы следует выполнить контрольные задания в количестве, предусмотренном учебным планом специальности.

В контрольные задания входит изложение общих закономерностей химической технологии, технологии основных химических продуктов и решение задач. Пользуясь указанной литературой, необходимо достаточно полно ответить на вопросы, поставленные в

контрольных работах. Отвечая на вопросы, там, где необходимо, следует приводить химические формулы, химические реакции, графики, рисунки, оборудование и схемы технологических процессов. При выполнении задач необходимо привести расчетную формулу в

общем виде, вычисления и дать численный результат. В конце контрольного задания необходимо указать использованную литературу.

—

7.3.2. Вопросы для промежуточного тестирования знаний

1. Промышленный способ получения кальцинированной соды. Назначение стадий аммонизации, карбонизации, бикарбонизации.
2. Ход и сущность анализа соды.
3. Сырье для получения кальцинированной соды. Регенерация аммиака и CO_2 .
4. Какие способы устранения жесткости не сопровождаются выделением осадков? Охарактеризовать эти методы.
5. Как проводится ионнообменное умягчение и обессоливание воды? Все ответы иллюстрировать уравнениями реакций.
6. Как проводится анализ общей и временной жесткости?
7. Что такое жесткость воды? Какую жесткость называют постоянной, временной, общей?
8. Какие способы устраняют временную и постоянную жесткость? Описать методы, перечислить достоинства и недостатки.
9. Сравнить известково-содовый и фосфатный способы устранения жесткости. Почему первый способ обеспечивает более грубое умягчение?
10. Рассмотреть процесс получения SO_2 из железного колчедана как высокотемпературную экзотермическую реакцию, идущую в диффузионной области.
11. В чем сходство и различие между контактным и нитрозным способами получения H_2SO_4 ?
12. Почему по нитрозному способу получают разбавленную и загрязненную (какими примесями) серную кислоту, а контактным – концентрированную и чистую?
13. Коксование угля. Назначение процесса. Продукты и их применение. В чем отличие между прямым и обратным коксовым газом?
14. Физические и химические способы получения бензинов из нефти (прямая перегонка нефти, термический и каталитический крекинг). В чем отличие бензинов, полученных этими способами, по составу и свойствам? Октановые числа полученных бензинов.
15. Показать, как идет образование непредельных и ароматических соединений при переработке нефти. Области применения этих соединений.

16. Какие жидкие и газообразные продукты образуются при сухой перегонке древесины, их количественный и качественный анализ.
17. Какие процессы протекают на катоде, аноде и в растворе при электролизе поваренной соли с железным катодом? С ртутным катодом?
18. Почему при электролизе с ртутным катодом едкий натр получается более высокой степени чистоты и концентрации, чем при электролизе с железным катодом? Влияние побочных реакций на выход хлора по току. Примеси в полученном едком натре.
19. Определение теоретического и практического веса и выхода по току хлора и едкого натра? Привести соответствующие уравнения реакций.
20. Расчет теоретического напряжения разложения электролита? Теоретический и практический расход электроэнергии на 1 кг хлора и едкого натра? Коэффициент разложения электролита?
21. Определить в % (об.) состав образующегося газа при газификации 100 кг угля водяным паром по реакции $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
22. При получении серной кислоты образовалась смесь 1 моля воды и 1 моля H_2SO_4 . Рассчитать концентрацию полученной кислоты.
23. В реакцию с водородом взято 8 м³ хлора. Определить количество полученной соляной кислоты, если ее концентрация 80%.
24. Какое количество соды Na_2CO_3 потребуется для улучшения воды с жесткостью 9 мг-экв/г, если содержание соды в техническом продукте 90% и следует взять избыток соды 20%?
25. Концентрация ионов Mg^{2+} в воде 0,048 г/л, ионов Ca^{2+} - 0,080 г/л. Определить жесткость воды и количество Na_3PO_4 для улучшения 0,5л такой воды, если следует взять избыток умягчителя 15%.
26. Какое количество SO_2 по весу и объему потребуется для получения 50л 3М H_2SO_4 ?
27. Определить объем 70% H_2SO_4 ($\rho = 1,6$), который можно получить из 16 кг серы?
28. Рассчитать расход колчедана, содержащего 40% серы на получение 100 кг 98% H_2SO_4 .
29. Концентрация $CaCl_2$ в воде 0,4 г/л, $MgSO_4$ - 0,3 г/л. Определить общую жесткость воды и количество Na_3PO_4 для улучшения 150л такой воды.
30. Сколько потребуется водорода для получения 120 кг 50% HCl , если потери H_2 составляют 5%.
31. Какое количество аммиака по весу и объему потребуется для получения 10 кг аммиачной селитры $NH_3 + HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3$
32. При электролизе $NaCl$ в течение 10 часов при силе тока 15А был получен раствор $NaOH$ 45% концентрации. Определить вес раствора, если выход по току 90%.
33. Определить вес и объем выделившегося при электролизе $NaCl$ водорода, если выход по току 95%, время электролиза 8 часов, сила тока 10А.
34. При сухой перегонке 12 г древесины было выделено 5 мл 0,7Н уксусной кислоты. Определить содержание уксусной кислоты в древесине в процентах.
35. Определить состав в % (об.) продуктов сгорания метана при сжигании 100м³ газа, содержащего в % (об.): 95 – CH_4 , 5 – N_2 по реакции $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$.
36. Определить расход триоксида серы на получение 120 кг 80% серной кислоты, если степень абсорбции SO_3 95%.
37. Рассчитать суточную производительность завода по получению 98% серной кислоты из сернистого газа, если его расходуется 6500 кг/час, а содержание в нем SO_2 - 10%.
38. Какое количество 50% азотной кислоты потребуется для получения 80 кг аммиачной селитры? Потери кислоты в производстве 1%.
39. Какое количество 75% H_2SO_4 потребуется для разложения 10 кг фосфата Ca_3PO_4 , если его состав % (масс.) Ca_3PO_4 – 80%, $CaCO_3$ – 20% по реакции
- $$Ca_3PO_4 + 2H_2SO_4 = Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4$$
- $$CaSO_3 + H_2SO_4 = CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$
40. Рассчитать расход диоксида серы на получение 1 т 90% H_2SO_4 , если степень окисления SO_2 в SO_3 составляет 95%.

7.3.3. Вопросы для подготовки к зачету

Химико-технологический процесс и его содержание

1. Какие подсистемы относятся к основным подсистемам химического производства?
2. Какие критерии относятся к технологическим критериям эффективности химического производства?
3. Понятие степени превращения реагента.
4. Понятие выхода продукта.
5. Характеристика моделей ХТС.

Основные закономерности химической технологии

6. Кинетика химических реакций.
7. Энергетика химических процессов: термодинамическая система и параметры состояния.
8. Понятие термодинамической системы.
9. Функции состояния системы
10. Химическая кинетика. Гомогенные и гетерогенные системы. Скорость химических реакций (средняя и истинная). Зависимость скорости химической реакции от природы и концентрации реагирующих веществ. Закон действия масс. Температурный коэффициент скорости реакции. Правило Вант-Гоффа.
11. Кинетика гетерогенных процессов. Катализаторы и каталитические системы. Гомогенный и гетерогенный катализ. Химическое равновесие и направление самопроизвольного протекания процессов
12. Обратимые и необратимые реакции. Константа химического равновесия. Смещение равновесия в соответствии с принципом Ле Шателье. Направление и предел самопроизвольного протекания химических процессов.
13. Гетерогенные дисперсные системы. Коллоидные растворы. Классификация дисперсных систем по взаимодействию дисперсионной фазы и дисперсионной среды. Способы получения дисперсных систем.
14. Методы очистки коллоидных растворов. Свойства коллоидных растворов. Оптические свойства. Кинетические свойства коллоидных растворов. Электрические свойства коллоидных растворов. Заряд и строение коллоидных частиц. Строение мицеллы. Термодинамическая неустойчивость гетерогенных дисперсных

Важнейшие химические производства

15. Основные способы фиксации атмосферного азота.
16. Химическая и функциональная схемы получения технического газа для синтеза аммиака из природного газа.
17. Схема синтеза аммиака.
18. Основные физико-химические реакции синтеза аммиака из азота и водорода, влияющие на выбор режима технологического процесса.
19. Механизм гетерогенно-каталитического процесса синтеза аммиака. Стадии процесса катализа.
20. Химическая и функциональная схемы получения азотной кислоты.
21. Выбор технологического режима.
22. Сырье для получения серной кислоты. Основные различия в технологических схемах получения серной кислоты. Выбор температурного режима обжига серы и серного колчедана.
23. Принципы классификации минеральных удобрений.

24. Схемы получения простого и двойного суперфосфата. Обоснование выбранного режима.
25. Методы получения комплексных азотно- калийно–фосфорных удобрений.

Производство силикатных и других материалов

26. Состав стекла разного назначения. Наиболее важные компоненты и их свойства.
27. Характеристика сырья для производства стекла.
28. Производство стекольной массы. Силикатообразование, стеклообразование, дегазация, гомогенизация, охлаждение.
29. Типы стекловаренных печей (ванные, горшковые).
30. Керамика. Сырье для керамических изделий. Производство для керамических изделий. Подготовка сырья. Приготовление керамических масс. Формование изделий. Обжиг изделий.
31. Кислотоупорные изделия.
32. Керамические строительные материалы. Огнеупоры. Шамотные изделия. Динасовые изделия. Специальные огнеупорные материалы.

Электрохимические производства

31. Использование воды в химической технологии. Кругооборот воды в природе. Признаки, по которым классифицируются природные воды. Показатели, характеризующие качество воды.
32. Характеристика коллоидных примесей природных вод. Характеристика коагулянтов. Гидролиз коагулянтов. Щелочной резерв. Условия коагуляции. Влияние электролита на эффективность коагуляции. Влияние температуры на коагулирование примесей. Коагуляция примесей воды. Коагуляция с подщелачиванием. Флокулянты. Неорганические флокулянты. Органические флокулянты.
33. Электрохимические процессы. Механизм возникновения электродного потенциала в чистой воде. Механизм возникновения электродного потенциала в растворе соли. Водородный электрод. Измерение стандартного электродного потенциала металла. Уравнение Нернста. Ряд напряжений. Выводы из ряда напряжений. Гальванические элементы. Гальванический элемент Якоби-Даниэля. Концентрационный элемент. Термогальванический элемент. Электродвижущая сила гальванического элемента.
34. Электролиз водных растворов. Уравнения Фарадея. Выход по току. Катодные и анодные процессы. Применение электролиза.

7.3.4. Вопросы для подготовки к экзамену. Не предусмотрены

7.3.5. Тесты контроля качества усвоения дисциплины. Не предусмотрены

7.3.6. Паспорт фонда оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Химико-технологический процесс и его содержание	ПК-7,17,20,21,24	Отчет, КР, Т, экзамен
2	Основные закономерности химических процессов	ПК-7,17,20,21,24	Отчет, КР, Т, экзамен
3	Важнейшие химические производства	ПК-7,17,20,21,24	Отчет, КР, Т, экзамен
4	Производство силикатных и других материалов	ПК-7,17,20,21,24	Отчет, КР, Т, экзамен
5	Электрохимические производства	ПК-7,17,20,21,24	Отчет, КР, Т, экзамен

7.4. Порядок процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности на этапе промежуточного контроля знаний

При проведении устного экзамена студенту предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос студента по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов. С экзамена снимается материал тех КР, которые обучающийся выполнил в течение семестра на «хорошо» и «отлично».

Экзамен может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи КР и (или) путем организации специального опроса, проводимого в устной и (или) письменной форме.

Во время проведения экзамена (зачета) обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочными данными и вычислительной техникой.

8. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), РАЗРАБОТАННОГО НА КАФЕДРЕ

В стадии разработки

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.
Лабораторные занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Решение задач и упражнений по алгоритму.
Отчет по лабораторным работам	Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих для запоминания и являющихся основополагающими в этой теме. Составление аннотаций к прочитанным литературным источникам.
Тестирование	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач и упражнений на лабораторных занятиях.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1. Основная литература

1. Бесков В.С. - Общая химическая технология: Учебник для вузов. — М.: ИКЦ "Академкнига", 2005. - 452 с.
2. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. - Общая химическая технология: Учебник для вузов. М.: ИКЦ "Академкнига", 2003. - 528 с.
3. Игнатенков В.И., Бесков В.С. - Примеры и задачи по общей химической технологии": Учеб.пособие для вузов. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2005. -198с.
4. И. П. Мухленов, А. Я. Авербух, Е. С. Тумаркина, И. Э. Фурмер. Общая химическая технология. В 2 томах. — М.: Альянс, 2009. — 256 с.
5. Лабораторный практикум по общей химической технологии. Под ред. В. Бескова. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. — 280 с.
6. Закгейм А.Ю. Общая химическая технология: Введение в моделирование химико-технологических процессов / Учебное пособие. — 3-е изд., перераб и доп. — М.: Университетская книга; Логос, 2012. — 304 с.
7. Общая химическая технология: материальный баланс химико-технологического процесса: Учебное пособие для ВУЗов / Кузнецова И.М. и др. — М.: Университетская книга, Логос, 2008. — 264 с.
8. Игнатенков В.И., Бесков В.С. Примеры и задачи по общей химической технологии. — М.: Академкнига, 2006. — 200 с.

10.2. Дополнительная литература

1. Практикум по общей химической технологии. Под ред. И.П. Мухленова. — М.:Высш. шк., 1979. - 421 с.
2. Вольфович С.И. Общая химическая технология. — Госхимиздат, 1990 г. — 651 с.
3. Бесков В.С., Сафонов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии. — М.: Химия, 1999. - 345 с.
4. А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. Общая химическая технология: Учебник для ВУЗов/ А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. — 3-е изд.,перераб. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. — 528 с.
5. Бесков В.С. Общая химическая технология. Учебник для ВУЗов. — М.: Академкнига, 2006 г. — 452 с.
6. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. М.: Техносфера, 2008. — 352 с.
7. Мухленов И.П., Горштейн А.Е., Тумаркина Е.С. Основы химической технологии. Учебник для студентов хим.-технол. спец. ВУЗов / Под ред. И.П. Мухленова. — 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1991. - 463 с.
8. Нанотехнология: Простое объяснение гениальной идеи./ Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 240 с.
9. Балобанов В.И. Нанотехнология: Наука будущего. — М.: Эксмо, 2009. — 256 с.
10. Бирюков В.Д. Основы промышленной биотехнологии / Учебное пособие для ВУЗов. — М.: Колосс, 2004 г. — 296 с.
11. Москвичев Ю.А., Григорович А.К., Павлов О.С. Теоретические основы химической технологии: Учебное пособие для студентов сред. проф. учебн. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 272 с.
12. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии / Учебное пособие для ВУЗов. — М.: «Химия», 1999 г. - 290 с.

10.3. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронная версия учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД) «Общая химическая технология» размещена на сайте кафедры физики и химии имеет в своём составе нижеследующие части.

1. Рабочая программа дисциплины.
2. Вопросы для подготовки к экзаменам.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Химический каталог. Неорганическая химия. Сайты и книги <http://www.ximicat.com>
2. Справочно-информационный сайт по химии <http://www.alhimikov.net>.
3. Справочный ресурс химического факультета МГУ <http://www.chem.msu.su>.
4. Химический софт <http://chemistry.narod.ru>.
5. Основы химии. Образовательный сайт для школьников и студентов <http://hemi.wallst.ru>.

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Учебно-лабораторное оборудование

- | | |
|--|-------------|
| 1. Учебно-лабораторный комплекс «Химия»
в комплектации:
· универсальный контроллер;
· модули «Электрохимия», «Термостат»;
· персональный компьютер | - ауд. 6421 |
| 2. Ионмер «Эксперт - 1» | - ауд. 6413 |
| 3. Ионмер ЛПУ - 01 | - ауд. 6413 |
| 4. Ионмер И-160 | - ауд. 6421 |
| 5. Вакуумный сушильный шкаф | - ауд. 6413 |
| 6. Шкаф с вытяжной вентиляцией | - ауд. 6421 |
| 7. Установка для титрования | - ауд. 6421 |
| 8. Лабораторная химическая посуда | - ауд. 6421 |
| 9. Вакуумсушильный шкаф | - ауд. 6413 |
| 10. Электроды сопротивления СНОЛ | - ауд. 6413 |

11.2. Технические средства обучения

- | | |
|------------------|--|
| 1. Ноутбук | - отдел инновационных образовательных программ |
| 2. Медиапроектор | |

12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (образовательные технологии)

12.1 Методические рекомендации по подготовке и чтению лекций

1. Готовить лекции не только по рекомендованным студентам учебникам, но и по разделам дисциплины в специальной научной и технической литературе.
2. При чтении очередной лекции кратко напомнить основные положения лекции предыдущей, если они представляют собой единый блок.
3. При освоении дисциплины на лекции приводить примеры расчетов параметров, которые рассматривались по данной теме.
4. Сопровождать лекции презентациями, которые помогают подробно показать схемы приборов, примеры реализации рассматриваемых процессов.

5. Приводить примеры использования приведенной на лекции информации в жизни и технике.
6. Задавать вопросы студентам по ходу лекции и давать на них подробный ответ.
7. Читать лекцию таким образом, чтобы студент успевал конспектировать основные положения излагаемого материала.
8. Завершать лекцию краткими выводами по теме.

12.2. Методические рекомендации по организации и проведению лабораторных работ

1. Перед началом занятий ввести студентов в курс выполняемой работы, назвать ее цель и перечислить запланированные эксперименты.
2. Каждое занятие завершать объявлением следующей работы, теоретические положения которой студент должен подготовить заранее по рекомендуемым учебникам, методическим указаниям и материалам лекции.
3. Проводить опрос студентов в соответствии с изучаемой темой до начала занятий.
4. Решить задачи и ответить на вопросы, записанные в практикуме или методических указаниях к данной работе.
5. Записать ход каждого эксперимента, привести полученные результаты измерений параметров или реакций, научить студентов давать им оценку: отметить их соответствие теоретическим положениям.
5. Проверить правильность выполнения заданий, предусмотренных темой, в тетради для лабораторных работ.
6. Перед контрольными работами дать задание на дом, опросить студентов по темам, вопросы и задачи по которым содержатся в тестах контрольной работы.
7. Разбирать ошибки, допущенные студентом при выполнении контрольной работы.

12.3. Методические рекомендации по подготовке к дифференцированному зачету

1. Для подготовки к экзамену или зачету составить вопросы по каждой теме.
2. Проводить консультации перед экзаменами.
3. Выделить время для решения задач, аналогичных содержащимся в билетах.
4. К экзамену допускать студентов, выполнивших всю программу по дисциплине, включая посещение лекций, отработку лабораторного практикума, защиту лабораторных работ.
5. Студент должен представить тетрадь по лабораторному практикуму с хорошо оформленными работами и выполненными домашними заданиями.
6. По темам пропущенных лекций студент пишет рефераты, который преподаватель проверяет и оценивает.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО по направлению подготовки 240100 «Химическая технология».

Руководитель основной образовательной программы

Доцент, к.т.н., доцент
(занимаемая должность, ученая степень и звание)

_____ (подпись)

А.И. Макеев
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией строительного технологического института

«_____» _____ 20____ г., протокол № _____.

Председатель

Профессор, д.т.н., доцент
(должность, учёная степень и звание)

_____ подпись

Г.С. Славчева
(инициалы, фамилия)

Эксперт

Зав. каф. химии, д-р хим. наук, проф.
(место работы)

_____ (занимаемая должность)

_____ (подпись)

О.Б. Рудаков
(инициалы, фамилия)

М П
организации