

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**Санкт-Петербургский государственный технологический
университет растительных полимеров**

ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Методические указания

Для студентов заочной формы обучения, Специальности-
240406 «Технология переработки древесины»; 240199
«Химическая технология и биотехнология»

Санкт-Петербург
2008

0198

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ
ПОЛИМЕРОВ»**

Кафедра технологии и композиционных материалов

ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Методические указания

Для студентов заочной формы обучения

Специальности: 240406 «Технология переработки древесины»;

**240199 «Химическая технология и
биотехнология»**

Санкт-Петербург, 4

2008

УДК 66.01(07)

Общая химическая технология: методические указания / сост. И.А.Степанов, Э.Л.Аким; ГОУВПО СПбГТУРП.- СПб., 2008.-28 с.

Учебно-методические указания содержат рекомендации по освоению курса «Общая химическая технология», включают перечень разделов курса, контрольные работы, вопросы для самопроверки и список рекомендуемой литературы.

Предназначаются для студентов специальностей 240406 «Технология переработки древесины», 240199 «Химическая технология и биотехнология» заочной формы обучения.

Рецензент: канд. техн.наук, доцент кафедры СПб ГТУРП ТЦ и КМ Стебунова Т.А.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой технологии целлюлозы и композиционных материалов ГОУВПО СПб ГТУРП (протокол № 3 от 14.11.2008).

Утверждены к изданию методической комиссией химико – технологического факультета ГОУВПО СПб ГТУРП (протокол №3 от 9.02. 2008).

Корректор Т.А. Смирнова
Техн.редактор Л.Я. Титова

Подп.к печати 02.12.08.

Формат 60*84/16

Бумага тип.№1. Печать офсетная. Объем 1,75 п.л., 1,75 уч.-изд.л.
Тираж 80 экз.

Изд. № 128. Цена «С». Заказ 236Ф

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

© ГОУВПО Санкт-Петербургский
государственный
технологический университет
растительных полимеров,
2008

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Дисциплина «Общая химическая технология» (ОХТ) изучается на 4 курсе, т.е. после изучения курсов неорганической, общей, аналитической и физической химии, параллельно курсу «Процессы и аппараты химической технологии». За курсом: «ОХТ» следует изучение технологий получения продуктов, рассматриваемых в специальных дисциплинах.

Перед освоением курса «ОХТ» необходимо, прежде всего, закрепить знания, приобретенные при изучении предшествующих дисциплин.

При повторении курсов «Общей химии», «Физической химии» нужно обратить особое внимание на разделы, связанные со скоростью химической реакции и с химическим равновесием. Ниже приводится перечень вопросов для самопроверки степени воспроизводства знаний по указанным разделам.

СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

1. Химическая реакция. Важнейшие условия, необходимые для ее протекания.
2. Среднее значение скорости химической реакции. Единицы измерения скорости.
3. Как экспериментально определить скорость химической реакции?
4. Кинетические кривые (зависимость количества исходных реагентов и конечных продуктов от времени).
5. Мгновенные значения скорости химической реакции.
6. Уравнения, позволяющие рассчитать мгновенное значение скорости.
7. Кинетическое уравнение.
8. Константа скорости химической реакции, от чего она зависит?
9. Зависимость константы скорости от температуры. Уравнение Аррениуса.
10. Энергетические диаграммы экзо- и эндотермических реакций. Ход реакции, координата реакции.
11. Энергия активации, изменение энтальпии реакции.
12. Зависимость скорости необратимых реакций от времени.

ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

1. Обратимые реакции.
2. Скорость обратной, прямой и обратимой реакций, их зависимость от времени.
3. Кинетические кривые для обратимой реакции.

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА

Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

4. Равновесные количества (концентрации) исходных реагентов и конечных продуктов.
5. Константа равновесия. Её зависимость от температуры для экзо- и эндотермических реакций.
6. Способы выражения констант равновесия.
7. Принцип Ле - Шателье.
8. Влияние условий проведения реакций (Т, Р, концентрации исходных и конечных веществ) на равновесные концентрации исходных веществ и конечных продуктов.

При повторении курса по органической химии необходимо вспомнить свойства насыщенных углеводородов (механизм радикального замещения), этиленовых углеводородов (механизм реакции электрофильного присоединения), свойства галогенопроизводных (механизмы реакций нуклеофильного замещения на примерах первичного и третичного галогенопроизводного), свойства ароматических углеводородов (реакции электрофильного замещения).

Особое внимание надо обратить на природу промежуточных продуктов и переходных состояний, на их устойчивость.

Только после воспроизводства знаний, полученных ранее по указанным дисциплинам, можно приступить к изучению курса «ОХТ». При этом начинать надо с изучения разделов, которые являются базовыми для освоения теоретических основ химической технологии. К таким разделам относятся: «Классификация химико - технологических процессов (ХТП)» и «Показатели ХТП».

Таким образом, темы: «Скорость химической реакции», «Химическое равновесие», «Механизмы химических реакций», «Классификации ХТП» и «Показатели ХТП», является «азбукой», владение которой является необходимым условием для изучения курса ОХТ.

При освоении курса «Общая химическая технология» студент должен:

1. Изучить закономерности протекания ХТП.
2. На основе приобретенных знаний предложить: метод выбора и выбор параметров технологического режима, обеспечивающих оптимальные значения показателей, характеризующих степень эффективности организации ХТП, предложить метод выбора и выбор реакторов и технологических схем для проведения ХТП.

Понятия о химическом производстве как совокупности взаимосвязанных потоков, элементов, с протекающим в них процессами, в том числе химическими превращениями. Химико - технологическая система (ХТС), предназначенная для переработки сырья и производства продуктов потребления. Технологический режим. Параметры технологического режима.

Иерархическая организация процессов в химическом производстве – процесс (ХТП), химико-технологический аппарат (ХТА), химическое производство.

Раздел 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХТП

Классификация ХТП: по фазовому состоянию реагирующих веществ (гомогенные, гетерогенные); по тепловому эффекту (экзотермические, эндотермические); по обратимости (обратимые, необратимые); по типу химической реакции (простые и сложные); по характеру протекания процессов во времени (периодические и непрерывные).

Раздел 3. КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХТП

Энергетические критерии: производительность, мощность, интенсивность.

Эксплуатационные критерии: надежность и безопасность функционирования ХТС.

Технологические критерии: степень превращения исходного реагента, выход продукта, выход от теоретического, равновесный выход, избирательность или селективность (суммарная, мгновенная), расходные коэффициенты, скорость химико-технологического процесса. Средняя скорость, мгновенная скорость. Инвариантное значение скорости. Общая формула для расчёта скорости гомогенных и гетерогенных процессов.

Раздел 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОМОГЕННЫХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХТП

Гомогенные необратимые ХТП. Общая формула для расчёта скорости гомогенного процесса. Влияние параметров технологического режима на показатели процесса (скорость, степень превращения,

выход). Условия проведения гомогенных необратимых процессов, обеспечивающие оптимальные значения показателей процессов.

Гомогенные обратимые ХТП. Показатели, характеризующие обратимые процессы. Равновесие в ХТП. Влияние параметров технологического режима на равновесную степень превращения исходного реагента, равновесный выход, при проведении экзо- и эндотермических процессов. Технологические приёмы, обеспечивающие увеличение равновесного выхода.

Закономерности гомогенных обратимых экзотермических ХТП. Скорость обратимых ХТП. Формула для расчёта скорости. Влияние температуры на скорость обратимых экзотермических процессов.

Оптимальная температура процесса при заданной степени превращения исходного реагента (X). Оптимальные температуры процесса при различных заданных степенях превращения исходных реагентов ($X_1 < X_2 < X_3 < X_n$ и т.д.). Линия оптимальных температур, (ЛОТ). Влияние температуры на степень превращения исходного реагента (X) при заданном времени проведения процесса (τ); при различных временах проведения процесса ($\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$). Линия оптимальных температур (ЛОТ).

Закономерности гомогенных обратимых эндотермических ХТП. Эндотермические обратимые процессы. Зависимость скорости гомогенного эндотермического процесса от температуры для заданной и различных заданных степенях превращения исходного реагента. Влияние температуры на степень превращения исходных реагентов при заданном и различных заданных временах проведения процесса. Выбор температурного режима при приведении обратимых эндотермических процессов.

Закономерности гомогенных сложных ХТП. Показатели сложных процессов. Связь между избирательностью, степенью превращения исходного реагента и выходом продукта. Влияние температуры на избирательность сложных процессов. Оптимальные параметры технологического режима, обеспечивающие повышенные значения показателей сложных ХТП.

Закономерности газовых ХТП. Влияние давления на показатели газовых ХТП. Выбор оптимальных условий при проведении необратимых и обратимых газовых ХТП.

Раздел 5. ГЕТЕРОГЕННЫЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ХТП

Скорость гетерогенного химико-технологического процесса. Общая формула для расчёта скорости.

Стадии гетерогенного процесса: внешняя диффузия, внутренняя диффузия, химическая реакция. Лимитирующая стадия процесса. Области протекания гетерогенного процесса: внешнедиффузионная, внутридиффузионная, кинетическая. Внешне- и внутридиффузионные торможения. Способы их устранения.

Внешнедиффузионная область гетерогенного ХТП. Основные признаки протекания процесса во внешнедиффузионной области. Обеспечение максимальных значений показателей ХТП. Способы увеличения удельной поверхности раздела фаз гетерогенного процесса, протекающего во внешнедиффузионной области для систем: газ - твердое, газ - жидкость, жидкость - твердое.

Внутридиффузионная область гетерогенного химико-технологического процесса. Основные признаки протекания процесса во внутридиффузионной области. Обеспечение максимальных значений показателей ХТП. Увеличение удельной поверхности раздела фаз гетерогенного процесса, протекающего во внутридиффузионной области.

Кинетическая область гетерогенного химико-технологического процесса. Основные признаки протекания процесса в кинетической области. Обеспечение максимальных значений показателей ХТП. Способы увеличения удельной поверхности раздела фаз, гетерогенного процесса, протекающего в кинетической области.

Раздел 6. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ

Классификация химических реакторов: по способу подвода исходных реагентов и отвода конечной реакционной массы (периодические и непрерывные); по режиму движения реакционной массы и ее перемешивания (реакторы вытеснения и реакторы смешения); по температурному режиму в реакционном объеме (реакторы изотермические, адиабатические, политермические); по фазовому состоянию исходных реагентов (реакторы для гомогенных, гетерогенных и гетерогенно-каталитических процессов); реакторы для высокотемпературных и низкотемпературных процессов.

Требования, предъявляемые к химическим реакторам. Реакторы должны: обеспечить наибольшую производительность и интенсивность; обеспечить максимальное значение степени превращения исходного реагента при наибольшей селективности процесса; иметь наименьшие энергетические затраты, связанные с транспортировкой и перемешиванием реагентов, быть дешевыми и простым в управлении, быть устойчивыми и надежными в работе.

Модели реакторов. Реактор идеального вытеснения (РИВ) как модель реального реактора вытеснения. Характеристическое уравнение РИВ, решение характеристического уравнения.

Реактор идеального смешения (РИС) – модель реального реактора смешения. Реактор идеального смешения периодического (РИС-П) и реактор идеального смешения непрерывного действия (РИС-Н), характеристические уравнения для РИС-П и РИС-Н и их решения.

Сравнительная характеристика РИВ и РИС-Н по интенсивности, выходу продуктов, при протекании в реакторах химических реакций различных порядков.

Сравнительная характеристика РИВ и РИС-Н по селективности, выходу целевого продукта и интенсивности при протекании в реакторах сложных процессов с разными порядками реакций.

Каскад реакторов идеального вытеснения (КРИВ) и идеального смешения непрерывного действия (КРИС-Н).

Сравнительная характеристика одиночного РИВ и КРИВ; одиночного РИС-Н и КРИС-Н. Расчет КРИС-Н.

Раздел 7. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (ХТС)

Что такое ХТС? Общие требования к ХТС. Состав ХТС: элементы и потоки. Виды моделей ХТС: графические и описательные. Графическое описание: модель, схема. Схемы ХТС - функциональная, технологическая, структурная. Описательные модели. Химическое описание. Математическое описание (общий вид). Технологические связи элементов ХТС, их название и характеристика: последовательная, параллельная, последовательно-обводная (байпасная), обратная (рецикл), перекрёстная. Основные концепции при построении (синтезе) ХТС: глубокая переработка сырья, полное использование сырьевых ресурсов, минимизация отходов производства, оптимальное использование аппаратуры.

Сырьевая и энергетическая подсистема ХТС. Сырьевые источники химического производства. Характеристика и классификация сырья по происхождению, агрегатному состоянию, химической природе. Возобновляемые и невозобновляемые источники сырья. Замена пищевого сырья. Использование отходов производства как вторичных материальных ресурсов. Подготовка сырья в химико-технологическом процессе: сортировка, измельчение, агломерация, обогащение (концентрирование), очистка.

Вода и воздух как сырьё в химической промышленности.

Энергетическая подсистема ХТС. Потребление энергии и энергоснабжение в химическом производстве. Источники энергии в химическом производстве. Рациональное использование энергии. Вторичные энергоресурсы (ВЭР).

Учебным планом предусмотрено выполнение студентом двух контрольных работ:

Контрольные работы являются самопроверкой степени освоения курса «ОХТ», поэтому выполнять их надо только после изучения курса. Необходимо выполнить две контрольные работы:

- первая контрольная работа включает теоретические вопросы;
- вторая контрольная работа предусматривает применение теоретических знаний к анализу отдельных производств и содержит задачу, на элементы расчетов технологических процессов.

К сдаче экзамена по общей химической технологии допускаются студенты, имеющие положительные отзывы на контрольные работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

Номер варианта	Условия задания
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основные направления развития химической технологии. 2. Классификация химико – технологических процессов. 3. Устойчивость работы химических реакторов.
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основные направления в развитии химической технологии. Пути повышения качества химической продукции. 2. Обратимые процессы. Равновесие. Равновесная степень превращения исходных реагентов (X), равновесный выход (Φ). Принцип Ле - Шателье. Влияние условий проведения обратимого процесса на (X) и (Φ). 3. Характеристическое уравнение реактора идеального смешения непрерывного действия. Решение этого уравнения, если, кинетическое уравнение химической реакции, протекающей в реакторе, имеет вид: $U = \pm \frac{dc_i}{dt} = K * C_A^n$ для случаев: $n=0$; $n=1$; n – любой (n – порядок реакции).

Продолжение таблицы

Номер варианта	Условия задания
3	<p>1. Показатели химико-технологического процесса: скорость, степень превращения исходного реагента, выход продукта, равновесная степень превращения исходного реагента, равновесный выход, выход от равновесного, селективность, расходные коэффициенты.</p> <p>2. Зависимость скорости обратимого и необратимого процессов от времени.</p> <p>3. Каскад реакторов идеального смешения непрерывного действия КРИС-Н, интенсивность КРИС-Н в сравнении с одиночными реакторами идеального смешения непрерывного действия.</p>
4	<p>1. Себестоимость химической продукции. Пути ее снижения</p> <p>2. Гетерогенные химико-технологические процессы. Стадии гетерогенных процессов. Области протекания. Внешне- и внутридиффузионные торможения. Способы устранения торможений.</p> <p>3. Сравнительная характеристика реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Интенсивность этих реакторов.</p>
5	<p>1. Сырье в химической промышленности. Классификация сырья. Запасы сырья. Методы обогащения сырья.</p> <p>2. Влияние температуры на скорость и степень превращения исходных реагентов в случае гомогенных обратимых экзотермических химико-технологических процессов. Линия оптимальных температур.</p> <p>3. Реактор идеального вытеснения характеристическое уравнение реактора. Решение этого уравнения, если кинетическое уравнение химической реакции, протекающей в реакторе, имеет вид:</p> $U = \pm \frac{dc_i}{dt} = K * C_A^n$ <p>для случаев: $n=0$; $n=1$; n – любой (n – порядок реакции).</p>
6	<p>1. Флотационный метод обогащения сырья. Простая и сложная флотация.</p> <p>2. Гомогенные необратимые химико-технологические процессы. Показатели этих процессов. Условия проведения процессов, обеспечивающие оптимальные значения показателей гомогенных процессов.</p>

Продолжение таблицы

Номер варианта	Условия задания
6	<p>3. Каскад реакторов идеального смешения непрерывного действия КРИС-Н, расчет КРИС-Н.</p>
7	<p>1. Гомогенные обратимые эндотермические процессы. Показатели, характеризующие эти процессы. Условия проведения обратимых эндотермических процессов, обеспечивающие максимальное значение показателей этих процессов.</p> <p>2. Классификация реакторов. Требования, предъявляемые к реакторам.</p> <p>3. Гетерогенные процессы. Стадии гетерогенных процессов. Области протекания, способы определения области протекания. Интенсификация гетерогенного процесса, протекающего во внутридиффузионной области.</p>
8	<p>1. Основные направления в развитии химической технологии. Автоматизация и дистанционное управление.</p> <p>2. Сложнопараллельные процессы. Показатели этих процессов. Условия проведения этих процессов, при которых обеспечиваются оптимальные значения показателей процессов.</p> <p>3. Катализ. Сущность катализа.</p>
9	<p>1. Обратимые газовые процессы, протекающие с уменьшением объема. Влияние давления на скорость, равновесную степень превращения и равновесный выход этих процессов.</p> <p>2. Общая формула для расчета скорости гомогенного и гетерогенного химико-технологических процессов.</p> <p>3. Гетерогенные процессы. Способы интенсификации гетерогенного процесса, протекающего во внешнедиффузионной области.</p>
10	<p>1. Гомогенные процессы. Показатели гомогенных процессов. Условия проведения процессов, обеспечивающие оптимальные значения показателей этих процессов.</p>

Окончание таблицы

Номер варианта	Условия задания
10	<p>2. Кинетическая область протекания гетерогенного химико-технологического процесса. Способы ее определения.</p> <p>3. Константа равновесия обратимых процессов. Зависимость константы равновесия от температуры, для реакций, протекающих с тепловым эффектом. Влияние температуры на равновесный выход, равновесную степень превращения исходного реагента, для обратимых экзо – и эндотермических реакций.</p>

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

Номер варианта	Условия задания
1	<p>1. Производство метилового спирта. Физико-химические основы процесса.</p> <p>2. Типы технологических связей в производстве серной кислоты.</p> <p>3. Задача. Негашеная известь содержит 94% CaO, I, 2% CO₂ и 4,8% CaCO₃. Получается она обжигом известняка, содержащего 89% CaCO₃. Определить расходный коэффициент известняка на 1 тонну готовой извести указанного состава.</p>
2	<p>1. Производство разбавленной азотной кислоты.</p> <p>2. Схема установки для синтеза метилового спирта из окиси углерода и водорода. Типы технологических связей.</p> <p>3. Задача. При получении серной кислоты контактным способом на 1 тонну обжигаемого колчедана с содержанием 42% серы практически получается 1,2 тонны олеума, содержащего 20% «свободного» серного ангидрида. Определить выход серной кислоты.</p>
3	<p>1. Контактный способ производства серной кислоты.</p> <p>2. Типы технологических связей в производстве аммиака.</p> <p>3. Задача. Сколько потребуется аммиака для получения 1 тонны азотной кислоты, если производственные потери азота составляют 6%?</p>

Продолжение таблицы

Номер варианта	Условия задания
4	<p>1. Производство водорода из метана и воды. Физико-химические основы процесса.</p> <p>2. Схема получения полиэтилена под высоким давлением.</p> <p>3. Задача. Составить материальный баланс процесса окисления аммиака на 1 тонну 100%-й HNO₃? Исходные данные: содержание NH₃ в аммиачно-воздушной смеси—8,5% объемн.; степень контактирования – 97%; степень окисления азота—100%; степень абсорбции—98%; 3% аммиака превращается в азот.</p>
5	<p>1. Синтез аммиака.</p> <p>2. Схема производства этилового спирта сернокислотной гидратацией этилена.</p> <p>3. Рассчитать степень превращения водорода и выход от теоретического аммиака при синтезе аммиака, если через некоторый момент времени в газовой смеси обнаружено 80 молей водорода и 20 молей аммиака. Процесс ведут при температуре 500°C и давлением 30 МПа. В этих условиях, при состоянии равновесия в газовой смеси содержится 26,4% аммиака.</p>
6	<p>1. Производство карбамида. Физико-химические основы процесса.</p> <p>2. Схема получения азотной кислоты.</p> <p>3. Константа равновесия дегидрогенизации этана при температуре T=1100°K равна K=1,67×10⁵Па, изменение энтальпии реакции равно ΔH= -144450,4 Дж/моль. Определить равновесную степень превращения этана при температуре T=1000°K и давлении p=1,01×10⁵Па.</p>
7	<p>1. Производство каучука и резины.</p> <p>2. Схема производства аммиака.</p> <p>3. Задача. Газовая смесь состоит из азота и кислорода. Найти концентрацию кислорода, при которой содержащаяся в смеси окись азота окисляется с максимальной скоростью. Температура газов, при которой протекает окисление, менее 150°C, т.е. процесс в этих условиях необратим.</p>

РАЗДЕЛЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

В виде формул и графиков представлены разделы из предшествующих дисциплин (повторение), знание которых является необходимым условием для освоения курса «Общая химическая технология» и некоторые разделы курса: «Общая химическая технология».

Раздел 1. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

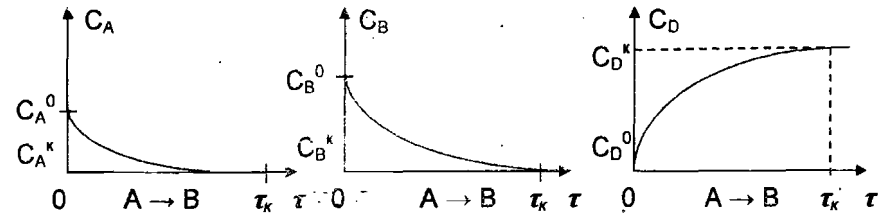
Химическая реакция: $aA + bB \rightarrow dD$

A; B – исходные реагенты;

D – конечные продукты;

a, b, d – стехиометрические коэффициенты.

Кинетические кривые для необратимой реакции: $aA + bB \rightarrow dD$



$A \rightarrow B$, выражение под осью абсцисс означает, только то, что реакция необратимая;

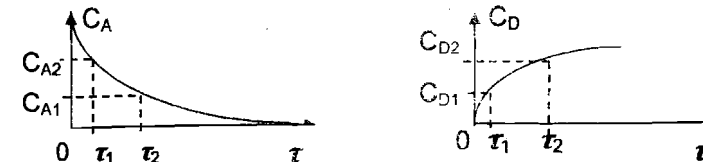
C_A^0, C_B^0, C_D^0 – начальные количества исходных реагентов и продуктов реакции в реакторе;

C_A^k, C_B^k, C_D^k – конечные количества продуктов реакции в реакторе;

C_A, C_B, C_D – текущие количества исходных реагентов и продуктов реакции в реакторе;

τ – время.

Среднее значение скорости химической реакции:



$$\bar{U} = -\frac{C_{A2} - C_{A1}}{\tau_2 - \tau_1} = -\frac{\Delta C_A}{\Delta \tau}$$

⊖ т.к. $C_{A2} < C_{A1}$

$$\bar{U} = \frac{C_{D2} - C_{D1}}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{\Delta C_D}{\Delta \tau}$$

⊕ т.к. $C_{D2} > C_{D1}$

$$\bar{U} = \pm \frac{\Delta C_i}{\Delta \tau}, \quad i \rightarrow A, B, D.$$

Окончание таблицы

Номер варианта	Условия задания
8	1. Стадия получения водорода из окиси углерода и воды в синтезе аммиака. Физико – химические основы процесса. 2. Схема производства серной кислоты контактным способом. 3. Задача. При каких соотношениях азота и водорода скорость их химического взаимодействия при синтезе аммиака будет максимальной.
9	1. Синтез метилового спирта. Физико – химические основы процессов. 2. Технологическая схема получения водорода из метана и воды. 3. Найти энергию активации разложения двуокиси азота, протекающей по реакции второго порядка, если константа скорости разложения при температуре $T=600^\circ\text{K}$ равна $K_1=83,9(\text{моль}/\text{дм}^3 \cdot \text{с})^{-1}$, а при $T+640^\circ\text{K}$ равна $K_2=407,0(\text{моль}/\text{дм}^3 \cdot \text{с})^{-1}$.
10	1. Производство сернистого газа обжигом серного колчедана. Физико-химические основы процесса. 2. Схема производства разбавленной азотной кислоты при атмосферном давлении. 3. При синтезе метанола из окиси углерода и водорода в момент равновесия доля метанола составляет 0,270. Рассчитать состав реакционной среды, если после некоторого промежутка времени от начала реакции в реакторе обнаружено 79 молей окиси углерода и 21 моль метанола.

Мгновенное значение скорости химической реакции:

$$U = \pm \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta C_i}{\Delta\tau} = \pm \frac{dC_i}{d\tau}$$

Кинетическое уравнение:

Для реакции: $aA + bB \rightarrow dD$

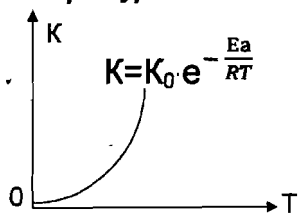
$$U = \pm \frac{dC_i}{d\tau} = K \cdot C_A^{a'} \cdot C_B^{b'}$$

C_A, C_B – текущие концентрации;

a', b' – частные порядки реакции соответственно по реагенту А и В;

K – константа скорости химической реакции.

Зависимость константы скорости химической реакции от температуры:

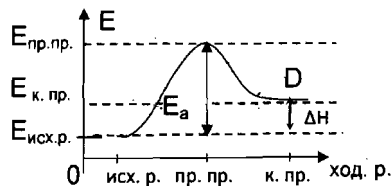
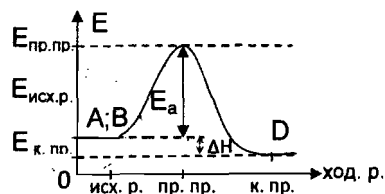


T – абсолютная температура;
 K – константа скорости;
 K_0 – предэкспонентный множитель;
 e – основание натурального логарифма;
 R – газовая постоянная;
 E_a – энергия активации.

Энергетические диаграммы химических реакций, протекающих с разным тепловым эффектом:

реакция экзотермическая:
 $aA + bB \rightarrow dD - \Delta H(+Q_p)$

реакция эндотермическая:
 $aA + bB \rightarrow dD - \Delta H(-Q_p)$



$$E_a = E_{\text{пр.пр.}} - E_{\text{исх.р.}}$$

$$\Delta H = E_{\text{пр.пр.}} - E_{\text{исх.р.}}$$

$E_{\text{исх.р.}}$ – энергия исходных реагентов;

$E_{\text{к.пр.}}$ – энергия конечных продуктов;

$E_{\text{пр.пр.}}$ – энергия промежуточных продуктов;

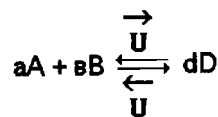
E_a – энергия активации;

ΔH – энтальпия реакции;

Q_p – тепловой эффект реакции.

Раздел 2. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

Обратимая реакция:



U – скорость обратимой реакции;

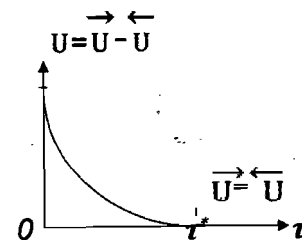
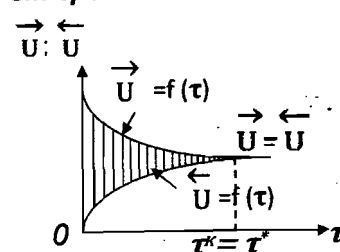
\rightarrow – скорость прямой реакции;

\leftarrow – скорость обратной реакции

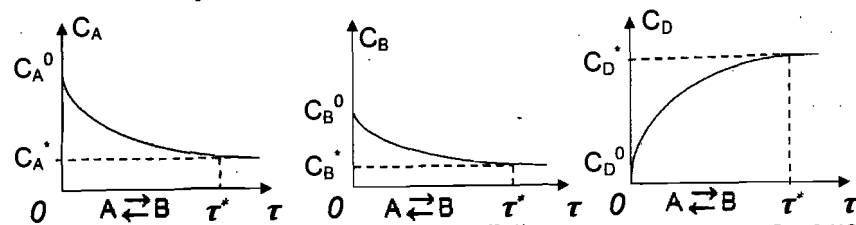
Скорость обратимой реакции:

$$U = \pm \frac{dC_i}{d\tau} = \vec{U} - \overleftarrow{U} = \vec{K}(C_A)^{a'} \cdot (C_B)^{b'} - \overleftarrow{K}(C_D)^{d'}$$

Зависимость скорости обратимой, прямой и обратной реакции от времени:



Кинетические кривые для обратимой реакции: $aA + bB \rightleftharpoons dD$



C_A^*, C_B^*, C_D^* – равновесные количества исходных реагентов и конечных продуктов;

C_A^0, C_B^0, C_D^0 – начальные количества исходных реагентов и конечных продуктов;

τ – время реакции;

τ^* – момент завершения обратимого процесса;

τ^* – момент равновесия, $\tau^* = \tau^*$;

* – звездочкой отмечены параметры, характеризующие равновесие.

Константа равновесия (K), условие равновесия для реакции:



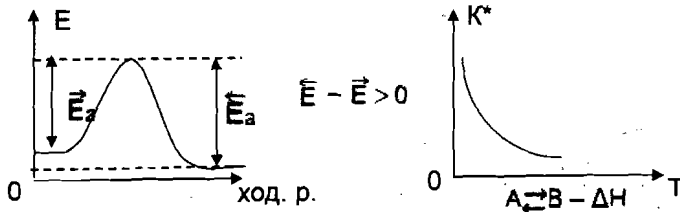
$$\overline{U}^{\leftarrow} = \overline{U}^{\rightarrow}; \quad K^*(C_A)^{a'} \cdot (C_B)^{b'} \rightleftharpoons K^* = (C_D)^{d'} - \text{условие равновесия}$$

$$K^* = \frac{\overline{K}}{\underline{K}}; \quad \text{отсюда} \quad K^* = \frac{\overline{K}}{\underline{K}} = \frac{(C_D)^{d'}}{(C_A)^{a'}(C_B)^{b'}} = \text{const}$$

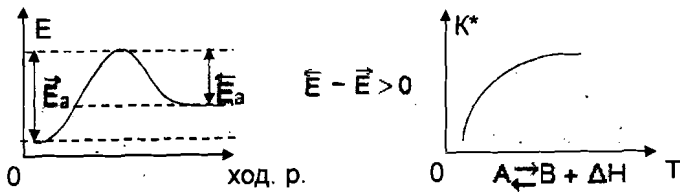
Зависимость константы равновесия и равновесных концентраций от температуры:

$$K^* = \frac{\overline{K}}{\underline{K}} = \frac{\overline{K}_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}}}{\underline{K}_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}}} = f\left(e^{-\frac{E}{RT}}\right)$$

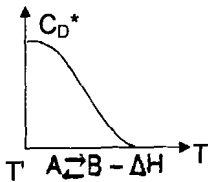
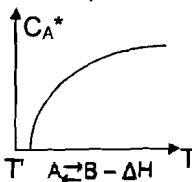
а) реакция экзотермическая: $aA + bB \rightleftharpoons dD - \Delta H$



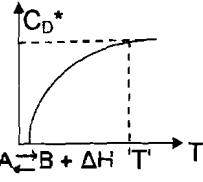
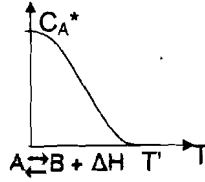
б) реакция эндотермическая: $aA + bB \rightleftharpoons dD + \Delta H$



Реакция обратимая экзотермическая ($\Delta H < 0$)



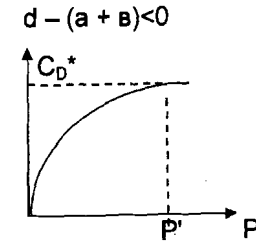
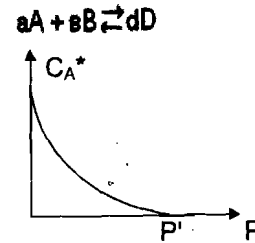
Реакция обратимая эндотермическая ($\Delta H > 0$)



T' – температура, при которой обратимый процесс стал необратимым.

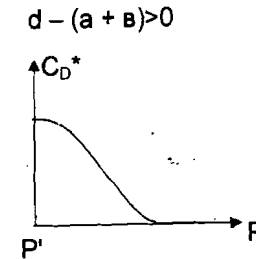
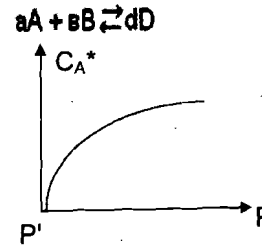
Влияние давления на равновесные количества исходных реагентов (C_A^* ; C_B^*) и конечных продуктов (C_D^*) для газовых реакций, протекающих с изменением объема

1. Реакция протекает с уменьшением объема:



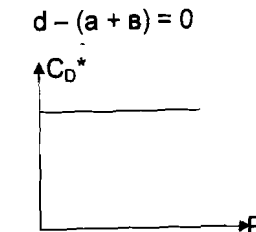
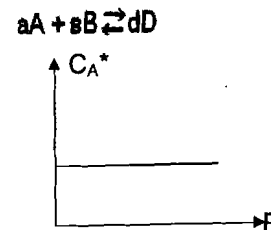
P' – давление, при котором обратимый процесс стал необратимым.

2. Реакция протекает с увеличением объема:

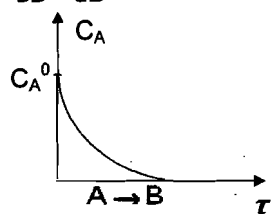
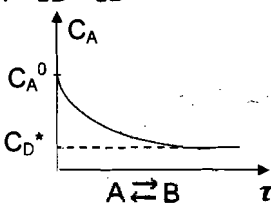
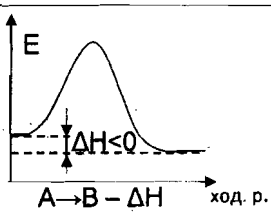
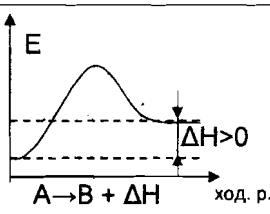


P' – давление, при котором обратимый процесс становится необратимым.

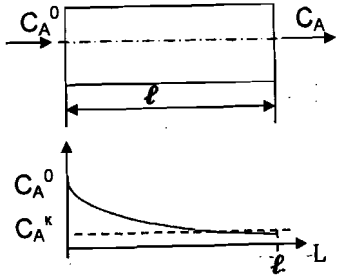
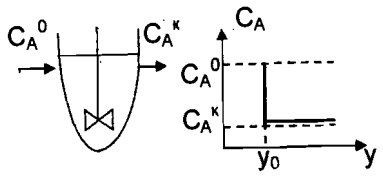
3. Реакция протекает без изменения объема:



Раздел 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИКО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХТП

1	Гомогенные ХТП	Гетерогенные ХТП
	$U = \pm \frac{dC_i}{d\tau} = K \cdot \Delta C = f(U_{x.p.})$	$U = \pm \frac{dm_i}{V d\tau} = K \cdot \Delta C \cdot F_{уд.} = f(U_{дифф.}; U_{x.p.})$
<p>K – коэффициент скорости ХТП; ΔC – движущая сила ХТП; F_{уд.} – удельная поверхность раздела фаз; U_{x.p.} – скорость химической реакции; U_{дифф.} – скорость диффузии исходных реагентов к поверхности раздела фаз (ПРФ) и продуктов реакции от (ПРФ).</p>		
2	Необратимые ХТП	Обратимые ХТП
	$aA + bB \rightarrow dD$ 	$aA + bB \leftrightarrow dD$ 
3	Экзотермические	Эндотермические
		
4	Простые ХТП	Сложные ХТП
	$aA + bB \rightarrow dD$ $A \rightarrow B$	<p>Сложнопараллельные</p> $A \begin{cases} \rightarrow B & \text{целевой} \\ \rightarrow D & \text{побочный} \end{cases}$ <p>Сложнопоследовательные</p> $A \rightarrow B \rightarrow D$ целевой побочный

Окончание таблицы

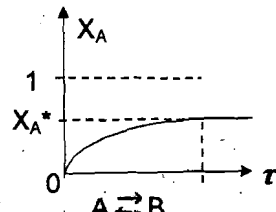
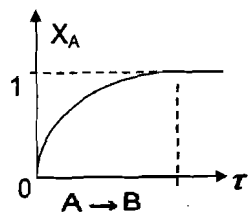
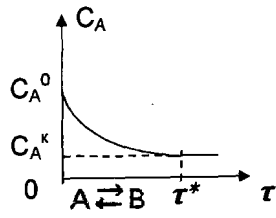
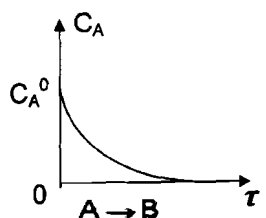
5	Периодические ХТП	Непрерывные ХТП
	$\tau_{ХТП} = \tau_{загр.} + \tau_{x.p.} + \tau_{выгр.}$	$\tau_{ХТП} = \tau_{x.p.}$
6	ХТП протекающие в реакторах:	
	Идеального вытеснения (РИВ)	Идеального смешения непрерывного действия (РИС-Н)
		
<p>ℓ – длина реактора;</p> $\tau_{РИВ} = \frac{V_p}{V_0} = C_A^0 \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{U_{X.P.}}$		<p>y_0 – начало осей координат;</p> $\tau_{РИС-Н} = \frac{V_p}{V_0} = \frac{C_A^0 \cdot X_A}{U_{X.P.}}$
<p>τ – условие время пребывания исходных реагентов в непрерывных реакторах РИС-Н и РИВ; V_p – объем реактора м³; V₀ – объемная скорость движения реакционной среды в реакторе, м³/ч; X_A – степень превращения исходного реагента; C_A⁰ – начальная концентрация исходного реагента; U_{x.p.} – скорость химической реакции.</p>		

Раздел 4. ПОКАЗАТЕЛИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1. Степень превращения исходных реагентов (X):

$$X_A = \frac{C_A^0 - C_A}{C_A^0}$$

где C_A^0 – начальная концентрация исходного реагента А;
 C_A – текущая концентрация исходного реагента А.



τ – время процесса;

$$X_A^* = \frac{C_A^0 - C_A^*}{C_A^0} < 1$$

τ^k – момент окончания процесса;

C_A^* – равновесная концентрация исходного реагента (А);

$X_A^* = \frac{C_A^0 - C_A^*}{C_A^0}$ – равновесная степень превращения исходного реагента.

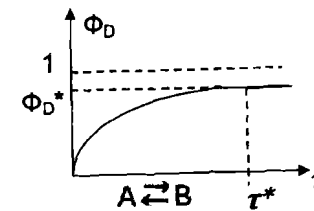
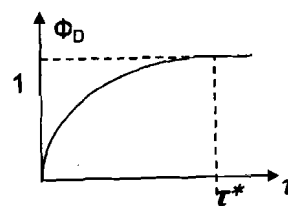
2. Выход продукта:

$\Phi_D = \frac{m_D}{m_D^{max}}$ – фактический выход;

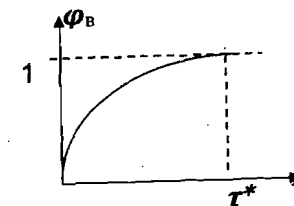
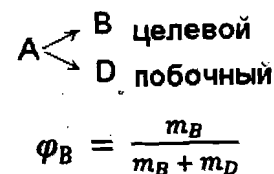
m_D – количество фактически полученного продукта;
 m_D^{max} – максимально возможное количество продукта, которое можно получить;
 m_D^* – количество продукта, полученного к моменту равновесия.

$\Phi_D^* = \frac{m_D^*}{m_D^{max}}$ – равновесный выход;

$\Phi_D^T = \frac{m_D}{m_D^{max}}$ – выход от равновесного;



3. Селективность или избирательность (φ):



φ_B – селективность по целевому продукту (В);
 m_B – количество полученного целевого продукта;
 m_D – количество полученного побочного продукта;
 τ – время процесса.

4. Скорость химико-технологического процесса

$\bar{U} = \pm \frac{\Delta c_i}{\Delta \tau}$ – среднее значение скорости;

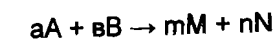
$U = \pm \frac{dc_i}{d\tau}$ – мгновенное значение скорости;

Δc_i – изменение количества исходного реагента или конечного продукта (dc_i);

$\Delta \tau$ – промежуток времени, за который произошло изменение количества исходных реагентов и конечных продуктов;

$d\tau$ – бесконечно малый промежуток времени, за который произошло изменение количества исходного реагента или конечного продукта (dc_i);

i – исходный реагент или конечный продукт.



$$-\frac{dc_A}{d\tau} \neq -\frac{dc_B}{d\tau} \neq \frac{dc_M}{d\tau} \neq \frac{dc_N}{d\tau};$$

$$-\frac{1}{a} \cdot \frac{dc_A}{d\tau} = -\frac{1}{b} \cdot \frac{dc_B}{d\tau} = \frac{1}{m} \cdot \frac{dc_M}{d\tau} = \frac{1}{n} \cdot \frac{dc_N}{d\tau};$$

$U = \pm \frac{1}{\nu} \cdot \frac{dc_i}{dt}$ – инвариантное значение скорости.

5. Расходные коэффициенты (PK):

по сырью: $PK = \frac{m_A}{m_B}$

где: m_B – количество полученного продукта;
 m_A – количество затраченного сырья на получение данного количества продукта.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Химико – технологический процесс. Классификация.
2. Сырье химической промышленности. Направление рационального использования сырья.
3. Пути понижения затрат на сырье.
4. Способы обогащения сырья. Флотационный метод обогащения сырья.
5. Вода в химической промышленности. Основные показатели качества воды.
6. Жесткость воды. Способы умягчения воды.
7. Комплексное использование сырья. Охрана окружающей среды.
8. Качество и себестоимость химической продукции.
9. Характеристика гомогенных и гетерогенных процессов.
10. Основные технологические показатели ХТП. Скорость, степень превращения исходного реагента, выход продукта, избирательность, расходные коэффициенты.
11. Скорость ХТП. Способы ее увеличения.
12. Степень превращения исходного реагента, выход продукта. Способы увеличения этих показателей для необратимых процессов.
13. Степень превращения исходного реагента, выход продукта. Способы увеличения этих показателей для обратимых процессов, протекающих с тепловым эффектом.
14. Скорость ХТП. Коэффициент скорости, движущая сила процесса для гомогенных и гетерогенных процессов.
15. Сложные процессы. Селективность, ее связи с входом продукта и степенью превращения исходных реагентов.
16. Способы интенсификации гомогенных необратимых процессов.
17. Гомогенный и гетерогенный катализ. Сущность катализа.
18. Равновесие в химико – технологическом процессе. Способы выражения константа равновесия. Взаимосвязь между ними.
19. Кинетические кривые исходных реагентов в случаи обратимых и необратимых процессов.

20. Константа равновесия. Равновесный выход. Связь константы равновесия с общим давлением и с равновесной степенью превращения исходных реагентов в случае процессов:



21. Параметры технологического режима. Их влияние на состояние равновесия.

22. Влияние температуры на равновесных выход, равновесную степень превращения исходного реагента при проведении обратимых экзо – и эндотермических процессов.

23. Способы увеличения равновесного выхода, равновесной степени превращения исходного реагента в случае газовых процессов, протекающих с изменением объема.

24. Принцип Ле – Шателье. Влияние концентрации исходных реагентов и конечных продуктов на равновесный выход, на равновесную степень превращения исходного реагента.

25. Гомогенные необратимые процессы. Зависимость скорости этого процесса от температуры.

26. Гомогенные обратимые процессы. Влияние температуры на скорость и степень превращения исходного реагента в случае экзотермического процесса. Линия оптимальных температур.

27. Гомогенные обратимые процессы. Влияние температуры на скорость и степень превращения исходного реагента в случае эндотермического процесса. Выбор оптимальных температур.

28. Обратимые экзотермические процессы. Линия оптимальных температур.

29. Зависимость степени превращения исходного реагента от температуры при различных временах проведения процессов в случае необратимого или обратимого экзо- и эндотермических процессов.

30. Сложные процессы. Селективность или избирательность. Влияние температуры на избирательность.

31. Влияние температуры на скорость, степень превращения исходного реагента, выход продукта в случае сложнопараллельного процесса.

32. Влияние давления на скорость газофазных необратимых процессов различного порядка.

33. Влияние давления на скорость газофазных обратимых процессов, протекающих с увеличением и уменьшением объема.

34. Гетерогенные ХТП. Краткая характеристика: Стадии гетерогенного ХТП.

35. Гетерогенный процесс. Области протекания гетерогенного процесса.

36. Внешнедиффузионная область протекания гетерогенного ХТП. Признаки протекания гетерогенного процесса во внешнедиффузионной области.
37. Способы интенсификации гетерогенного процесса, протекающего во внешнедиффузионной области.
38. Внутридиффузионная область гетерогенного ХТП.
39. Признаки протекания гетерогенного ХТП во внутридиффузионной области.
40. Способы интенсификации гетерогенного процесса, протекающего во внутридиффузионной области.
41. Кинетическая область протекания гетерогенного процесса.
42. Признаки протекания гетерогенного ХТП в кинетической области.
43. Способы интенсификации гетерогенного ХТП, протекающего в кинетической области.
44. Общая формула расчета скорости гетерогенного химико – технологического процесса. Коэффициент скорости процесса, движущая сила процесса.
45. Движущая сила гетерогенного ХТП при прямотоке, противотоке и при перекрестном токе.
46. Способы увеличения удельной поверхности раздела фаз в гетерогенном процессе, протекающем во внешнедиффузионной области для систем: газ – твердое, жидкость – твердое, газ – жидкость.
47. Химические реакторы. Классификация. Требования, предъявляемые к реакторам.
48. Классификация реакторов по гидродинамическому режиму смешения исходных реагентов.
49. Уравнение материального баланса для реактора в интегральной и дифференциальной формах.
50. Реактор идеального смешения периодического действия.
51. Реактор идеального вытеснения. Характеристическое уравнение. Решение уравнения при протекании в реакторе нулевого, первого и других порядков.
52. Реактор идеального смешения непрерывного действия. Характеристическое уравнение. Решение уравнения при протекании в реакторе реакций нулевого, первого и других порядков.
53. Каскад реакторов идеального вытеснения и идеального смешения.
54. Расчет каскада реакторов идеального смешения непрерывного действия.
55. Влияние типа реактора на интенсивность химико – технологического процесса.
56. Влияние типа реактора на избирательность при проведении сложнопараллельного процесса.
57. Выбор типа реактора при проведении сложнопараллельного процесса, в котором порядок основной реакции больше порядка

- побочных реакции и наоборот, порядок побочной реакции больше порядка побочной реакции.
58. Химико – технологические системы (ХТС). Способы изображения ХТС.
59. Технологические связи в ХТС.
60. Схемы ХТС.
61. Производство серной кислоты методом двойного контактирования, двойной абсорбции. Физико – химические основы процесса.
62. Производство сернистого газа. Физико – химические основы процесса.
63. Производство водорода. Физико – химические основы процесса.
64. Производство аммиака при среднем давлении. Физико – химические основы.
65. Производство азотной кислоты при атмосферном давлении. Физико – химические основы процесса.
66. Технологические связи в производствах серной кислоты, аммиака, азотной кислоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература:

1. Основы химической технологии / под. ред. И.П. Мухленова. – М.: Высшая школа, 1991, 1983.
2. Общая химическая технология / под. ред. И.П. Мухленова. – Ч. 1, 2 - М.: Высшая школа, 1984.
3. Соколов Р.С., Химическая технология, Том 1, 2. - М.: Владос, 2000.
4. Кутепов А. М., Бондарева Т. П., Беренгартен М. Г. Общая химическая технология. - М.: Высшая школа, 1990.
5. Туболкин А.Ф., Тумаркин Е. С., Тарат Э.Я. Расчет химико – технологических процессов. - М.: Химия, 1982.
6. Бесков В. С., Сафронов В. С. Общая химическая технология и основы промышленности экологии. - М.: Высшая школа, 1999.

Дополнительная литература:

- Общая химическая технология / под. ред. И.П. Мухленова. Ч. 1, 2. - М.: Высшая школа, 1977.
- Кафаров В.В. Принципы математического моделирования химико – технологических процессов. - М.: Химия, 1982.
- Левеншин О. Инженерное оформление химико – технологических процессов. - М. – Л.: Химия, 1969.
- Громогласов А. Я., Копытов А. С., Субботина Н. И. и др. Водоподготовка. - М.: Химия, 1977.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	3
СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ	3
ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ	3
ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА	5
Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	5
Раздел 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХТП	5
Раздел 3. КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХТП	5
Раздел 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОМОГЕННЫХ ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХТП	5
Раздел 5. ГЕТЕРОГЕННЫЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ХТП	6
Раздел 6. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ	7
Раздел 7. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА(ХТС)	8
КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ	9
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1	9
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2	12
РАЗДЕЛЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ	15
Раздел 1. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ	15
Раздел 2. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ	17
Раздел 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИКО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХТП	20
Раздел 4. ПОКАЗАТЕЛИ ХИМИКО –ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	22
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ	24
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	27