МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НРиИ

_____И.Б. Степанов
«___»_____2018 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по профилю

05.17.08 Процессы и аппараты химических технологий

Основная образовательная программа подготовки аспиранта
по направлению 18.06.01 Химическая технология

Томск 2018

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: системный анализ и математическое моделирование процессов химической технологии, физико-химическая гидродинамика, механика твердых дисперсных систем, теория тепло- и массопереноса, теория химических реакторов, химическая термодинамика, неравновесная термодинамика необратимых процессов.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Минобразования России по химии (по химической технологии) при участии Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, Московского государственного университета инженерной экологии и Ивановского государственного химико-технологического университета.

1. Системный анализ процессов химической технологии

Основные принципы системного анализа; взаимосвязь явлений в отдельных процессах и аппаратах; иерархия явлений и их соподчиненность в изучении процессов и аппаратов; иерархическая структура химического производства; взаимовлияние аппаратов. Математическое моделирование как современный метод анализа и синтеза химико-технологических процессов и химико-технологических систем. Сущность и цели математического моделирования объектов химической технологии, формы представления информации о процессе (управления, регрессии, дифференциальные уравнения, интегральные уравнения, конечные и конечно-разностные уравнения). Постановка задачи математического описания процесса. Два подхода к составлению математической модели процесса: детерминированный и стохастический. Их возможности и сферы использования. Теория подобия и анализ размерностей. Подобные преобразования, физическое моделирование, метода характеристических масштабов. Основы теории переноса количества движения, энергии, массы; гидродинамика и гидродинамические процессы: основные уравнения движения жидкостей, гидродинамическая структура потоков, сжатие и перемешивание газов, разделения неоднородных жидких и газовых систем, перемешивание в жидких средах.

2. Типовые модели структуры потоков в аппаратах непрерывного действия

Модель идеального смешения. Вывод дифференциального уравнения модели. Вид функции отклика модели на стандартные возмущения. Частотные характеристики модели. Условия реализуемости принятых допущений в приложении к аппаратам химической технологии. Модель идеального вытеснения. Вывод дифференциального уравнения модели. Передаточная функция. Вид функции отклика и частотные характеристики модели. Сравнительная оценка идеальных моделей. Энтропийная оценка меры упорядоченности движения частиц. Каноническое и микроканоническое распределение Гиббса. Фактор распределения как выражение второго закона термодинамики. Учет рассеяния по времени пребывания. Ячеечная модель. Свойство детектируемости. Частотные характеристики и вид функции отклика. Вывод уравнения предельного перехода к модели идеального вытеснения. Диффузионная модель. Комбинированные (многопараметрические) модели. Байпасирование. Последовательное и параллельное включение ячеек идеального смешения и вытеснения. Модель с застойной зоной.

3. Течение жидкости в пленках, трубах, струях и пограничных слоях

Уравнения и граничные условия гидродинамики. Течение, вызванное вращением диска. Гидродинамика тонких стекающих пленок. Струйные течения. Ламинарное течение в трубах различной формы. Продольное обтекание плоской пластины. Пограничный слой. Движение частиц, капель, пузырей в жидкости. Общее решение уравнений Стокса в осесимметричном случае. Обтекание сферической частицы, капли и пузыря поступательным стоксовым потоком. Сферические частицы в поступательном потоке при умеренных и больших числах Рейнольдса. Сферические капли и пузыри в поступательном потоке при умеренных и больших числах Рейнольдса. Обтекание сферической частицы, капли и пузыря сдвиговым потоком. Обтекание несферических твердых частиц. Обтекание цилиндра (плоская задача). Обтекание деформированных капель и пузырей. Стесненное движение частиц.

4. Химическая термодинамика

Система. Состояние системы. Уравнения состояния. Энергия. Работа. Теплота. Нулевой и пер-

вый законы термодинамики. Основные законы термохимии. О равновесных и обратимых процессах. Второй и третий законы термодинамики. Линейная термодинамика в задачах химии и химической технологии. Уравнения сохранения. Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды. Соотношение взаимности Онзагера. Потоки массы и тепла в сплошной фазе. Массоперенос в химико-технологических системах с учетом наличия межфазных поверхностей. Вариационный принцип минимума производства энтропии. Принцип минимума приведенных термодинамических потоков. Определение средней толщины пленки в дисперсно-кольцевых режимах течения. Неравновесная термодинамика необратимых процессов в химической технологии. Термодинамическая функция Ляпунова вдали от равновесия. Метод термодинамических функций Ляпунова для выявления химических осцилляторов. Современное состояние проблемы колебательных реакций в химии. Эксергия, эксергетический метод анализа химико-технологических систем; информационно-термодинамический принцип; использование методов оптимизации при создании энерго- и ресурсосберегающих производств (прямые, декомпозиционные, структурно-декомпозиционные методы).

5. Массо- и теплоперенос в пленках жидкости, трубах и плоских каналах

Уравнение и граничные условия теории конвективного тепло- и массопереноса. Диффузия к вращающемуся диску. Теплоперенос к плоской пластине. Массоперенос в пленках жидкости. Тепло- и массоперенос при ламинарном течении в круглой трубе. Тепло- и массоперенос при ламинарном течении в плоской трубе. Предельные числа Нуссельта при ламинарном течении жидкостей по трубам различной формы. Массо- и теплообмен частиц, капель и пузырей с потоком. Метод асимптотических аналогий в теории массо- и теплопереноса. Внутренние задачи о теплообмене тел различной формы. Массо- и теплообмен частиц различной формы с неподвижной средой. Массоперенос в поступательном потоке при малых числах Пекле. Массоперенос в линейном сдвиговом потоке при малых числах Пекле. Массообмен частиц и капель с потоком при больших числах Пекле (теория диффузионного пограничного слоя). Диффузия к сферической частице, капле и пузырю в поступательном потоке при различных числах Пекле и Рейнольдса. Диффузия к сферической частице, капле и пузырю. В линейном сдвиговом потоке при малых числах Рейнольдса и любых числах Пекле. Диффузия к сфере в поступательно-сдвиговом потоке и потоке с параболическим профилем.

6. Массообмен, осложненный поверхностной или объемной химической реакцией

Массоперенос, осложненный поверхностной химической реакцией. Диффузия к вращающемуся диску и плоской пластине при протекании объемной реакции. Внешние задачи массообмена частиц, капель и пузырей с потоком при различных числах Пекле и наличии объемной химической реакции. Внутренние задачи массопереноса при наличии объемной химической реакции. Нестационарный массообмен с объемной реакцией. Гидродинамика, массо- и теплообмен в неньютоновских жидкостях. Реологические модели неньютоновских несжимаемых жидкостей. Движение пленок неньютоновских жидкостей. Массоперенос в пленках реологически сложных жидкостей. Движение неньютоновских жидкостей по трубам и каналам. Теплоперенос в плоском канале и круглой трубе (с учетом диссипации). Гидродинамический тепловой взрыв в неньютоновских жидкостях. Обтекание плоской пластины степенной жидкостью. Затопленная струя степенной жидкости. Движение частиц, капель и пузырей в степенной жидкости.

7. Элементы механики твердых дисперсных сред в процессах химической технологии

Структура и структурные связи твердых дисперсных сред. Понятие форм и размеров твердых частиц, гранулометрического состава, сыпучести, сил взаимодействия между частицами. Реологические свойства сыпучих материалов, контактные силы внешнего трения и адгезионные свойства сыпучих материалов. Движение ожиженных твердых дисперсных систем. Псевдоожиженные слои. Процессы тепло- и массопереноса в псевдоожиженных слоях. Механические процессы. Процессы измельчения и измельчающие машины. Классификация процессов и машин. Типы дробилок (щековые, конусные, валковые, молотковые и роторные). Типы мельниц (барабанные – центробежные и вибрационные, ударного действия и др.). Смесители сыпучих материалов, кинетика процессов смешения.

8. Тепловые процессы

Основные уравнения процессов. Классификация используемых аппаратов. Теплообменники с передачей тепла через стенку. Кипятильники. Основные переменные процесса. Объекты с сосредото-

ченными и распределенными параметрами. Примеры. Теплообменники смешения. Теплообменники с идеальной изоляцией, теплообменники с потерями тепла через стенку. Математические модели кожухотрубных теплообменников. Выпарные аппараты. Основные уравнения. Математическая модель однокорпусной и трехкорпусной установки. Теплообмен излучением. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между поверхностями твердых тел, между газом и твердой поверхностью.

9. Диффузионные процессы

Математическое описание равновесия в многокомпонентных системах. Термодинамика равновесных и неравновесных состояний. Математическое описание процессов диффузии. Однофазная неподвижная среда. Стационарная диффузия в движущихся средах. Диффузия в многокомпонентных системах. Диффузионный потенциал. Массопередача в диффузионных процессах. Модели массопередачи. Пленочные и распылительные колонны. Математические модели аппаратов с поверхностью контакта, образующейся в процессе движения потоков. Модели тарельчатых колонн. Модели насадочных колонн. Деформация математических моделей при изменении гидродинамических режимов. Математическая модель эмульгационных колонн. Модели пульсационных колонн. Модели ротационных аппаратов.

10. Математические модели сушильных установок

Кинетика сушки. Контактные сушилки. Сушилки со стационарным слоем. Сушилки с псевдоожиженным и движущим слоем. Особенности математического описания сушилок.

11. Математические модели кристаллизационных установок

Описание роста кристаллов и зародышеобразования. Типы используемых кристаллизаторов. Математические модели кристаллизаторов различного типа.

12. Математические модели процессов разделения

Равновесие и массопередача в системах жидкость-жидкость. Типы используемых экстракционных аппаратов. Математические модели колонных экстракторов. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Описание равновесия в системах жидкость-пар, жидкость-газ. Типы ректификационных и абсорбционных аппаратов, их математическое описание. Математические модели мембранных установок. Общая характеристика мембранных способов разделения смесей. Их классификация. Виды мембран. Описание процесса переноса в мембранах. Математические модели фильтрационных установок, установок обратного осмоса, первапорационных установок.

13. Гомогенные химические реакторы

Гомогенные изотермические реакторы. Классификация реакторов по гидродинамическому признаку. Реактор периодического действия. Проточный реактор с мешалкой. Каскад реакторов идеального смешения. Оптимальное соотношение объемов реакторов в каскаде. Реактор с продольным перемешиванием потока (ламинарный и турбулентный режим). Выбор типа реактора с учетом селективности реакции. Микро- и макросмешение в реакторах. Расчет реактора при произвольном распределении и времени пребывания реагирующей смеси. Комбинированные модели реакторов. Примеры построения математических моделей и расчет некоторых типов промышленных реакторов. Фотохимические реакторы. Гомогенные неизотермические реакторы. Классификация реакторов по энергетическому признаку. Адиабатические и политропические реакторы. Сравнение эффективности адиабатических и изотермических реакторов. Адиабатические и политропические реакторы с продольными перемешиваниями. Комбинированные модели неизотермических реакторов. Оптимальные профили температур в каскаде реакторов и трубчатом политропическом реакторе. Оптимизация трубчатого реактора с промежуточным вводом холодной реагирующей смеси. Автотермические реакторы. Устойчивость работы адиабатических и политропических реакторов. Взаимосвязь устойчивости и селективности. Примеры построения математических моделей и расчета некоторых типов промышленных неизотермических реакторов.

14. Гетерогенные химические реакторы

Гетерогенные каталитические реакторы, классификация каталитических реакторов по конструктивному и гидродинамическим признакам. Одно- и многослойные реакторы со стационарным слоем катализатора. Квазигомогенная и гетерогенная модели. Горячие точки в реакторе со стационарным слоем катализатора. Оптимизация многослойных каталитических реакторов с промежуточным вводом холодной реагирующей смеси. Определение продольного и радиального перемешивания в адиабатических реакторах со стационарным слоем катализатора. Учет падения активности катализатора и изменение селективности. Устойчивость реактора со стационарным слоем катализатора и выбор диаметра трубок. Автотермические каталитические реакторы. Реакторы с псевдоожиженным слоем катализатора. Двухфазная и трехфазная модели реактора. Реакторы с движущимся слоем катализатора. Учет изменения активности катализатора в реакторах с псевдоожиженным и движущимся слоем катализатора. Понятие о многофазных каталитических реакторах. Примеры построения математических моделей расчета некоторых типов промышленных каталитических реакторов. Газожидкостные и жидкость-жидкостные реакторы. Классификация по конструктивному и гидродинамическим признакам. Реактор с мешалкой. Тарельчатые и насадочные реакторы. Модель идеального вытеснения в газовой и жидкой фазах. Симметричные и асимметричные ячеечные модели с образованием твердой фазы. Особенности составления математической модели многофазного реактора. Примеры составления математических моделей и расчета некоторых типов газожидкостных реакторов. Реакторы для проведения процессов в системах газ-твердое. Классификация промышленных реакторов по конструктивному и гидродинамическому признакам. Модели реакторов с твердой фазой. Пример составления математических моделей и расчета реакторов для окисления серного колчедана и извлечения металлов из руд.

Основная литература

1. Макаренков, Дмитрий Анатольевич. Процессы и аппараты химических технологий. Основные процессы и оборудование производства пигментов, суспензий и паст в лакокрасочной промышленности: учебное пособие / Д. А. Макаренков, В. И. Назаров, Е. А. Баринский; Московский государственный университет инженерной экологии (МГУИЭ) ; под ред. В. И. Назарова. — Москва: Инфра-М, 2016. — 210 с.: ил.. — Высшее образование - Бакалавриат. — Библиогр.: с. 210.. — ISBN 978-5-16-011431-6.
2. Дытнерский, Юрий Иосифович. Процессы и аппараты химической технологии : учебник : в 2 ч. / Ю. И. Дытнерский. — Изд. стер.. — Москва: Альянс, 2015.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 14-е изд. (перепечатано с 9-го изд. 1973 г.). – М.:Альянс, 2008. – 750с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. 14 изд. (перепеч. с изд. 1987 г.), – М.:Альянс, 2007. –576с.
5. Ульянов Б.А., Бадеников В.Я., Ликучев В.Г. Процессы и аппараты химической технологии. Учебное пособие. – Ангарск: Изд-во Ангарской государственной технической академии, 2006. – 743 с.
6. А.Н. Плановский, П.И. Николаев. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия, 1987, 496 с.
7. В.В. Кафаров. Основы массопередачи. М.: Высшая школа, 1979, 494 с.
8. Д.А. Баранов, А.В. Вязьмин, А.А. Гухман и др. Процессы и аппараты химической технологии. Том 1. Основы теории процессов химической технологии / Под ред. акад. А.М. Кутепова. М.: Логос, 2001, 600 с.
9. Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др. Процессы и аппараты химической технологии. Том 2. Механические и гидромеханические процессы / Под ред. акад. А.М. Кутепова. М.: Логос, 2001, 600 с.
10. В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Книга 1. М.: Химия, 1999, 888 с.
11. В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Книга 2. М.: Химия, 2000, 860 с.
12. В.В. Кафаров. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1985, 444 с.
13. А.В. Лыков. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967, 600 с.
14. О. Левеншпиль. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969, 620 с.

Дополнительная литература

1. А.М. Кутепов, А.Д. Полянин, З.Д. Запрянов, А.В. Вязьмин, Д.А. Казенин. Химическая гидродинамика. М.: Бюро Квантум, 1996, 336 с.
2. Э.М. Кольцова, Ю.Д. Третьяков, Л.С. Гордеев, А.А. Вертегел. Нелинейная динамика и термодинамика необратимых процессов в химии и химической технологии. М.: Химия, 2001, 408 с.
3. Ю.И. Дытнерский. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975, 229 с.
4. Д.А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987, 802 с.
5. Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. М.: Высшая школа, 1979, 496 с.

РЕГИОНАЛЬНАЯ И УНИВЕРСИТЕТСКАЯ КОМПОНЕНТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Специальность 05.17.08 Процессы и аппараты химических технологий – область науки, охватывающая теоретические и инженерные основы химической технологии. Специальность представляет собой сформировавшуюся область знаний с очередным кругом рассматриваемых в ней вопросов, тематика, которой определяется программами вузовских курсов по этой специальности.

Соискатель должен владеть теорией познания, иметь широкий научный и культурный кругозор.

Соискатель должен обладать знаниями общих философских концепций применительно к науке о процессах и аппаратах химической технологии, по истории формирования и развития данной науки, ее теоретических аспектов, основных проблем этой науки и путей их решения. Соискатель должен показать профессиональные знания процессам и аппаратам химической технологии -- фактический материал соответствующих разделов науки, их теоретические основы, показать владение современными методами исследований.

По всем темам по каждому из вышеперечисленных процессов и аппаратов химической технологии соискатель должен знать:

- теорию процесса, т.е. физическую сущность явлений, составляющих данный процесс; условия и законы, которым следуют данные явления; механизм, направление и скорость протекающего процесса, его движущую силу; балансы количества движения, массы и энергии;
- математическое описание процесса;
- устройство и функционирование аппарата, в котором осуществляется рассматриваемый процесс;
- методы расчета процесса и определения основных конструктивных размеров аппарата;
- области применения процесса в химической технологии и его технологические возможности;
- перспективы развития процесса и оборудования в направлении повышения производительности единицы объема аппарата и улучшения качества химической продукции.

Круг вопросов, знание которых требуется от соискателя степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 • процессы и аппараты химических технологий рассматриваются ниже.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Химическая промышленность, ее значение в народном хозяйстве, современное состояние и перспективы ее развития в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Наука о процессах и аппаратах химической технологи, этапы ее развития. Основные направления научно-технического прогресса в области процессов и аппаратов химической технологии. Основные задачи науки о процессах и аппаратах химической технологии, ее роль в деле создания новых технологических процессов и современного химического оборудования, в деле повышения производительности химической аппаратуры и улучшения качества химической продукции. Сущность проблемы защиты окружающей среды, связанной с деятельностью химических производств.

Классификация основных химико-технологических процессов. Периодические и непрерывные процессы.

Основные дифференциальные уравнения переноса количества движения, тепла массы.

Физическое моделирование. Моделирование и масштабные переходы от модели к реальному объекту. Основные критерии подобия гидромеханических, тепловых и массообменных процессов, их физический смысл и способы составления. Обобщенные уравнения.

Математическое моделирование. Основные этапы математического моделирования. Выбор модели. Проверка адекватности выбранной модели реальному процессу и ее коррекция. Методы оптимизации процессов с использованием математических моделей на ЭВМ.

Экспериментальные методы исследования. Их роль в физическом и математическом моделировании. Статистическая оценка результатов экспериментов. Методы математического описания результатов эксперимента. Регрессионный анализ.

Основы статистических методов планирования эксперимента, обработка результатов эксперимента при помощи ЭВМ.

Современные методы измерения параметров процесса: расхода, скорости, давления , температуры и др.

2. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Роль гидромеханических процессов в химической технологии. Классификация гидромеханических процессов. Неоднородные системы и методы их разделения. Классификация методов разделения. Значение методов разделения при решении экологических проблем.

I. Прикладная гидродинамика

Основные характеристики потока, режимы течения, ядро потока и гидродинамический пограничный слой. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Уравнение движения вязкой жидкости Навье-Стокса. Гидродинамическое подобие.

Внутренняя , внешняя и смешанная задача термодинамики гидродинамики. Течение жидкости в трубках, каналах, водосливы. Истечение из отверстий и насадок. Движение жидкости через неподвижные зернистые (пористые) слои. Гидравлическое сопротивление аппаратов.

Структура потоков жидкости в аппарате. Основные гидродинамические модели аппаратов: идеального смешения, идеального вытеснения промежуточного типа. Ячеечная и диффузионная модели перемешивания, комбинированные модели. Методы определения структуры потока жидкости в аппарате. Продольное и поперечное перемешивание. Гидравлическое моделирование.

Движение диффузионных потоков. Явление захлебывания. Оптимальные режимы работы аппаратов с двухфазными потоками.

2. Отстаивание

Теория процесса гравитационного отстаивания. Скорость осаждения единичных частиц. Стесненное осаждение. Конструкции отстойных аппаратов и их расчет.

Инерционное пылеулавливание и аппаратура.

3. Центробежное осаждение

Теория процесса осадительного центрифугирования и циклонного процесса. Центробежный фактор разделения. Скорость осаждения. Аппаратура для центробежного осаждения и ее расчет.

Мокрое пылеулавливание и аппаратура.

4. Осаждение под действием сил электрического поля

Физические основы процесса. Скорость осаждения в электрическом поле. Электрофильтры и их расчет.

5. Фильтрование

Теория процесса, движущая сила и сопротивление. Осадки и фильтрованные перегородки. Основное кинетическое уравнение фильтрования в режимах постоянного давления и постоянной скорости. Промывка осадков, роль диффузии в процессах промывки.

Фильтрующая аппаратура. Фильтры для пылеочистки, фильтры для суспензий, их технологические возможности. Расчет фильтрующих аппаратов.

6. Фильтрование под действием центробежной силы.

Теория процесса и его кинетика. Фильтрующие центрифуги. Схема расчета фильтрующих центрифуг.

7. Перемешивание в жидкой среде

Теория процесса. Технические способы перемешивания (пневматическое, циркуляционное, механическое). Энергозатраты, интенсивность и эффективность перемешивания. Влияние перемешивания на гидромеханические, тепловые и массобменные процессы. Аппаратура для перемешивания и ее расчет.

8. Псевдоожижение

Теория процесса и его гидродинамические характеристика. Скорости псевдоожижения и уноса. Влияние свойств материала на процесс псевдоожижения. Аппараты для псевдоожижение и их расчет.

3. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Общая характеристика тепловых процессов. Роль тепловых процессов в химической технологии. Термодинамические основы тепловых процессов. Тепловые эффекты фазовых переходов.

1. Теплопередача

Основные уравнения теплопередачи. Движущая сила тепловых процессов. Коэффициент теплопередачи и термические сопротивления.

Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Нестационарная теплопроводность. Краевые условия. Критерии теплового подобия Вио, Фурье, и безразмерная температура. Методы расчета нестационарного теплообмена.

Конвективный теплообмен. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена. Критерии теплового подобия и обобщенные уравнения.

Теплообмен при изменении агрегатного состояния теплоносителей. Теплопередача при кипении, конденсации, их возникновение.

Вычисление средней разности температур для различных случаев организации потоков и изменения свойств теплоносителей.

Тепловое излучение. Основные понятия и законы. Теплоизлучение газов. Расчет лучистого теплообмена. Сложный теплообмен.

2. Процессы нагревания, охлаждения и конденсации

Способы нагревания и охлаждения в химической технологии. Пределы применяемых температур и выбор соответствующего теплоносителя или охлаждающего агента.

Теплообмен при непосредственном контакте фаз. Схема расчетов аппаратов для нагревания, охлаждения и конденсации.

3. Выпаривание

Характеристика и области применения процессов выпаривания. Схема однокорпусного выпарного аппарата. Многократное выпаривание. Общая и полезная разность температур. Потери общей разности температур за счет дисперсии и гидростатического эффекта. Гидравлические потери. Определение расхода теплоносителя и поверхности теплообмена. Удельный расход греющего пара.

Распределение полезной разности температур по корпусам. Предельное и оптимальное число корпусов в установках многократного выпаривания.

Схема расчета выпарных установок.

4. Охлаждение до температур более низких, чем температура окружающей среды

Перенос тепла с низшего температурного уровня на высший. Обратный цикл Карно. Умеренное и глубокое охлаждение. Охлаждение при изоэнтропическом и изоэнтальпическом расширении. Дроссельный эффект. Инверсионная температура. Умеренное охлаждение. Схемы установок и диаграммы циклов. Схемы расчета установок умеренного охлаждения.

5. Глубокое охлаждение

Минимальная работа сжижения газов. Ступенчатое охлаждение с применением промежуточных холодильных реагентов. Регенеративные холодильные циклы с изоэнтальпическим расширением, с изоэнтропическим расширением сжатого газа и их комбинированием. Схемы расчета установок, диаграммы циклов.

6. Теплообменная аппаратура

Классификация теплообменной аппаратуры. Теплообменная аппаратура рекуперативного и регенеративного типов и ее расчет.

Теплообменные аппараты интенсивного действия. Конструкции выпарных аппаратов и их классификация. Выпарные аппараты с естественной и принудительной циркуляцией раствора. Пленочные выпарные аппараты. Схемы расчетов выпарных аппаратов.

4. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Общие сведения о массобменных процессах. Роль массобменных процессов в химической технологии. Технологическая взаимосвязь массообменных аппаратов с химическими реакторами.

1. Массопередача

Совершенные теории массопередачи. Основное уравнение массопередачи. Законы фазового равновесия. Движущая сила массообменных процессов. Кинетические параметры. Выражение коэффициента массопередачи через коэффициента массопередачи через коэффициент массоотдачи.

Молекулярная диффузия. Первый закон Фика. Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии.

Конвективный массобмен. Закон Щукарева. Дифференциальное уравнение конвективного массообмена. Критерии диффузионного подобия и обобщенные уравнения.

Массообмен в системах с твердой фазой. Закон массопроводимости. Диффузионные критерии Био и Фурье, безразмерная концентрация.

2. Абсорбция и ректификация

Теория процесса абсорбции. Равновесие в системах газ-жидкость. Принципиальные схемы процессов абсорбции.

Теория процесса ректификации. Равновесие в системах жидкость-пар. Ректификация двухкомпонентных и многокомпонентных смесей. Различия и особенности в интерпретации этих процессов. Методы расчета ректификации многокомпонентных смесей с дискретными компонентами и непрерывных смесей. Тепловой баланс процесса ректификации.

Однократное испарение, и перегонка с дефлегмацией, перегонка в токе водяного пара. Азеотропная и экстративная ректификация.

Аппаратурное оформление процессов абсорбции и ректификации. Схемы расчета аппаратов для этих процессов.

3. Молекулярная дистилляция

Основы процесса. Принципиальные схемы аппаратов для проведения молекулярной дистилляции. Схема расчета аппаратуры.

4. Экстракция

Теория процесса экстракции. Равновесие в системах жидкость-жидкость. Принципиальные схемы процессов экстракции. Диаграммы процессов. Кинетические закономерности процесса. Конструкции конструкционных аппаратов и их расчет.

5. Сублимация

Основы процесса. Процесс испарения и конденсации твердых веществ. Изображение процесса на диаграмме температура-давление. Кинетика процесса. Конструкции и расчет сублимационных установок.

6. Кристаллизация

Теория процесса кристаллизации. Равновесие в системах насыщенный раствор-кристалл и расплав-кристалл. Фазовая диаграмма температура-состав. Кинетика процесса. Образование центров кристаллизации. Рост кристаллов. Способы проведения процесса. Кристаллизационная аппаратура. Схема расчета кристаллизаторов.

7. Адсорбция

Теория процесса адсорбции. Равновесие в процессах адсорбции. Принципиальные схемы адсорбционных процессов. Адсорбционная аппаратура. Схема расчета адсорбционных аппаратов.

8. Сушка

Теория процесса сушки. Равновесная влажность и связь влаги с материалом. Материальный и тепловой балансы сушки. Диаграмма влажного воздуха. Изображение процессов сушки на диаграмме. Кинетические закономерности сушки. Принципиальная схема процессов сушки. Аппаратура. Схемы расчета сушилок.

9. Ионообмен

Сущность процесса ионообмена и область его применения. Иониты. Химические реакции и равновесие при ионообменном процессе. Изотерма ионообменного процесса. Кинетика. Аппаратура. Схема расчета ионообменных аппаратов.

10. Процессы разделения с использованием разделительных перегородок (мембран)

Основы процесса. Принципиальная схема аппарата для молекулярной диффузии через мембраны. Типы мембран. Теории проницания вещества через мембраны. Аппаратура для осуществления процесса и схемы ее расчета.

5. ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Общие сведения о химических процессах. Их место в общей технологической схеме производства. Основные характеристики химических процессов. Влияние гидродинамических, тепловых и массообменных факторов на скорость процесса. Диффузионная и кинетические области, смешанная кинетика.

Классификация процессов: изотермический и адиабатический режим работы реакторов.

Классификация химических реакторов. Реакторы полного перемешивания, полного вытеснения, промежуточного типа.

Реакторы полного перемешивания. Особенности проведения процесса. Распределение взаимодействующих веществ по времени пребывания в реакторе. Основные конструктивные типы и каскады реакторов. Методы расчета.

Реакторы полного вытеснения, особенности их работы. Основные конструктивные типы, трубчатые реакторы. Методы расчета.

Особенности реакторов, работающих при высоких давлениях. Продольное и поперечное перемешивание. Термическая устойчивость реакторов. Принципы моделирования реакторов.

6. РАЗДЕЛЫ ПРОГРАММЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАПРАВЛЕНИЕМ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эта часть программы включает новые разделы науки и техники, которые являются предметом научных исследований профессорско-преподавательского состава отделения химической инженерии.

6.1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Разработка и дальнейшее развитие теории и практики технологии дисперсных материалов (разделение минеральных суспензий, гранулирование, окатывание, экструзия, брикетирование, гранулирование в жидких средах).

Разделение жидких неоднородных систем фильтрованием. Причины снижения эффективности разделения с точки зрения физико-химических основ процесса и конструктивных особенностей фильтрующих установок.

Гидродинамика жидкостей в пористых средах. Основные характеристики пористых сред: пористость, распределение пор по размерам, гидравлический радиус и эквивалентный диаметр, удельная поверхность, проницаемость.

Моделирование порового пространства - глобулярные и капиллярные модели, их основные характеристики.

Перемещение жидкостей в пористых средах - самопроизвольное и вынужденное. Основные закономерности капиллярного перемещения жидкостей в ламинарном режиме: уравнения Уошьборна, Дерягина, Лыкова, Гагона-Пуазейля.

Капиллярное перемещение жидкости, осложненное присутствием взвешенных частиц.

Перспективные способы повышения эффективности процессов фильтрования. Роль методов физического и математического моделирования при интенсификации процессов.

Гранулирование окатыванием

Основные свойства дисперсных систем. Классификация дисперсных систем и форм связывания влаги с материалом. Теория процесса гранулирования окатыванием. Аппаратное оформление процесса, способы регулирования и повышения эффективности.

Гранулирование экструзией

Современное состояние теории течения вязких ньютоновских и неньютоновских жидкостей. Основные параметры свойств жидкостей и взаимосвязь с режимно-технологическими параметрами экструдеров. Аппаратурное оформление процесса, способы регулирования и повышения эффективности.

Брикетирование (прессование)

Теоретические основы процесса прессования порошкофазных материалов. Методы подбора связующих жидкостей. Способы направления и регулирования свойств брикетируемых материалов (механическая прочность, разделение пор по размерам, термическая стойкость).

Методы гранулирования тонко дисперсных материалов

Место процесса гранулирования тонкодисперсных материалов. Место процесса гранулирования в жидкой среде(процесс ГЖС) среди других методов. Классификация методов гранулирования в жидкой среде. Методы: золь-гель, гранулированная флокуляция, процесс ГЖЗ.

Смачиваемость твердого тела в жидкости. Мера смачиваемости. Когезия. Адгезия. Уравнение Юнга. Оценка способности дисперсных частиц к гранулированию в жидкой среде.

Термодинамический анализ взаимодействия твердой частицы с каплей, взвешенных в жидкости. Слияние твердой частицы с каплей. Проникновение твердой частицы в каплю связующей жидкости. Термодинамика образования агрегатов в процессе ГЖС.

Расчет и аппаратурное оформление процесса образования гранул в жидкой среде.

Практика получения гранул гранулированием в жидкой среде. Разделение сажеводных и угольноводных суспензий. Технология мелкосферических катализаторов. Пути реализации возможностей процесса ГЖС для гранулирования частиц различной природы.

6.2. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Сущность и теоретические положения прямого электронагрева. Особенности использования для электронагрева постоянного и переменного тока.

Некоторые положения процесса выпаривания водных растворов особой чистоты при наложении электрических полей:

- энергозатраты процесса;
- депрессии процесса;
- виды и режимы кипения в аппаратах электродного типа;
- требования к чистоте высококонцентрированных растворов квалификации "ОСЧ".

Выбор критерия оценки пригодности конструкционных материалов электродов, аппарата. Эксергетический анализ работы греющих камер электродного типа.

Электродные процессы, сопровождающие прохождение переменного тока через растворы электролитов. Распределение тока по поверхности электродов.

6.3. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Физическая массопередача в системах жидкость-жидкость. Общие представления о физической массопередаче через сферическую границу раздела фаз. Массопередача в сплошной фазе (случай лимитирующего сопротивления сплошной фазы). Модель Хигби, Левича. Экспериментальное определение коэффициента массопередачи через сферическую границу раздела фаз. Концевые эффекты.

Влияние конструктивных факторов на скорость межфазного обмена. Конструктивное оформление двухфазных жидкостных реакторов. Формирование структуры двухфазных потоков. Поверхность контакта фаз в двухфазных реакторах. Размеры частиц дисперсной фазы. Скорость движения частиц дисперсной фазы.

Поверхностные явления. Возникновение поверхностных явлений. Эффект Марагони. Теория межфазной турбулентности Кафарова В.В. Самопроизвольная межфазная конвекция. Упорядоченная и неупорядоченная межфазная конвекция, эррупции. Возникновение самопроизвольной межфазной конвекции. Теория Стерлинга-Скривена. Режимы массопередачи осложненной межфазными явлениями. Скорость массопередачи в режиме спонтанной поверхностной конвекции, методы расчета.

Происхождение нефти. Геология и геохимия нефти. Физические свойства, химический состав нефтяных систем.

Основные процессы первичной переработки нефти. Ректификация многокомпонентных нефтяных систем: - теория процесса;

- принципиальная схема;
- аппаратурное оформление;
- методы расчета процесса и аппаратов.

Природа межмолекулярных взаимодействий в нефтяных системах. Современные методы изучения углеводородного состава, физико-химических свойств, сложной дисперсной структуры нефти. Особенности гетерогенно-каталитических превращений. Уравнение

Лэнгмюра. Область применения. Ограничения. Обратная кинетическая задача. Пути оценки кинетических параметров. Методики оценки теплот адсорбции. Эффект торможения скорости гетерогенно-каталитических превращений.

Элементы количественной теории органических реакций. Линейность свободной энергии. Область применений уравнения Гаммете, Тафта.

Интегральные характеристики структуры органических молекул: исследования Балабана, Винера, Платта. Корреляция «структура-активность взаимодействий» в гомогенном и гетерогенном катализе.

6.4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Способы диспергирования твердых тел. Отличительные признаки раздавливания, удара, истирания, раскалывания. Комбинированное измельчение. Основные виды оборудования для дробления и помола.

Физические основы процесса классификации по крупности. Основные виды оборудования для классификации. Воздушная классификация. Грохочение. Области применения воздушной и ситовой классификации.

Смачиваемость твердого тела жидкостью. Мера смачиваемости. Физико-химические основы процесса смачивания. Основные уравнения смачиваемости. Когезия. Адгезия. Уравнение Дюпре. Коэффициент растекания.

Методы определения дисперсного состава порошковых материалов и приборы их реализующие. Прямые и косвенные методы. Ситовой анализ. Седиментация. Микроскопический метод. Кондуктометрия. Методы определения удельной поверхности. Погрешности методов определения дисперсного состава. Автоматизация контроля измерений в методах гранулометрии. Способы автоматизации в ситовых методах. Автоматизация седиментационных, микроскопических, кондуктометрических методов.

Кинетические закономерности процессов тонкого измельчения: зависимость выхода верхнего класса от времени измельчения.

Физико-химические методы интенсификации процессов тонкого измельчения.

Процесс измельчения-смешения как сложная физико-механическая система. Математическое описание процесса совместного измельчения разнородных материалов. Построение модели процессов измельчения и смешения.

Экспериментальные методы оценки качества смесей. Критерии качества смеси. Техника отбора проб из смеси. Методы анализа проб.

6.5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Современное состояние в области САПР процессов нефтехимии. Принципы организации вычислительного процесса на уровне автоматизированного проектирования. Алгоритмы решения задач нелинейного программирования для нефтехимических процессов.

Принципы построения методики САПР нефтехимических процессов: - стратегия проведения проверочного расчета;

- численное определение по экспериментальным данным кинетических параметров модели нефтехимического процесса при проектных расчетах;
- разработка декомпозиционного алгоритма с учетом специфики данного класса процессов;
- физико-химический анализ взаимодействия реагентов при оценочных расчетах;
- обоснование выбора критерия оценочных расчетов;
- определение оптимального режима работы каскада реакторов нефтепереработки;
- выбор технико-экономического критерия.

Разработка алгоритмов численных методов расчета параметров моделей нефтехимических процессов с учетом их специфики: поведение алгоритмов в "овражных" ситуациях, многокритериальность пространства поиска, учет интервалов неопределенности, автоматическое повышение точности.

Специфика модуля САПР процесса каталитического риформинга и рекомендации для его промышленного использования.

Программа подготовки научно-педагогических и научных кадров составлена на основе программы кандидатского экзамена по специальности 05.17.08, утвержденной приказом Минобрнауки России № 274 от 08.10.2007 года.

Дополнительная программа утверждена Ученым советом ИШПР протокол № ____ от _____ 2018 года.

Составитель: руководитель программы аспирантской подготовки Н.С. Белинская.