



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»

## Программа кандидатского экзамена

СК-РП-15.1-04-22

Факультет подготовки специалистов высшей квалификации



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

А.А. Куркин

«22» марта 2022 г

**Кафедра «Технологическое оборудование и транспортные системы»**

### ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 2.6.13

«ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

Область науки:

2. Технические науки

Группа научных специальностей:

2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия

Наименование отрасли науки, по которой присуждаются ученые степени:

технические науки

Научная специальность

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Нижний Новгород 2022

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
СК-РП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

Программа предназначена для методического сопровождения процесса подготовки аспирантов (соискателей) к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.6.13 «Процессы и аппараты химических технологий».

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

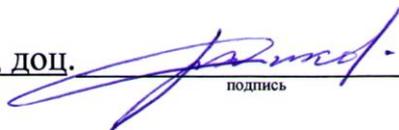
1. Федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре - приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 г. № 951.
2. Паспорт научной специальности 2.6.13 «Процессы и аппараты химических технологий», разработанный экспертами ВАК Минобрнауки России в рамках Номенклатуры научных специальностей, утвержденной приказом Минобрнауки России от 24.02.2021 г. № 118.
3. Учебный план НГТУ по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.6.13 «Процессы и аппараты химических технологий».

РЕКОМЕНДОВАНА кафедрой «Технологическое оборудование и транспортные системы» (ТОТС)

протокол № 6 от "21" марта 2022г.

Заведующий кафедрой «ТОТС»

к.т.н, доц.

  
подпись

Диков В.А.

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана факультета подготовки специалистов высшей квалификации

  
личная подпись

Трубочкина Е.Л.

расшифровка подписи

«22» марта 2022 г

дата

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
	СК-РП-15.1-04-22
Факультет подготовки специалистов высшей квалификации	

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие положения .....	4
2	Программа кандидатского экзамена по специальности 2.6.13 «Процес- сы и аппараты химической технологии» .....	4
3	Дополнительная программа .....	10
	Приложение. Пример оформления дополнительной программы .....	11

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
	СК-РП-15.1-04-22
Факультет подготовки специалистов высшей квалификации	

## 1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине состоит из двух частей:

- 1) основная программа по специальности, разработанной в соответствии с паспортом научной специальности 2.6.13 «Процессы и аппараты химических технологий»;
  - 2) дополнительной программы, разрабатываемой аспирантом (соискателем).
- Экзаменационные билеты должны включать 2-3 вопроса из основной программы и 1-2 вопроса из дополнительной программы.

## 2 Программа кандидатского экзамена по специальности 2.6.13 «Процессы и аппараты химических технологий»

Программа составлена в соответствии с паспортом специальности 2.6.13 «Процессы и аппараты химических технологий», с опорой на дисциплины, связанные с особенностями анализа общих закономерностей физических и химических явлений (перенос энергии и массы, химические превращения, физико-химические воздействия на перерабатываемые материалы), аппаратного оформления технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, использования особенностей нестационарных режимов с позиции экологической безопасности и надежности химических процессов и производств.

### 2.1. 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, гидроди-

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
	СК-ПП-15.1-04-22
Факультет подготовки специалистов высшей квалификации	

намическая структура потоков, сжатие и перемешивание газов, разделения неоднородных жидких и газовых систем, перемешивание в жидких средах.

## 2.2. 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.

## 2.3. 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 не-сферических твердых частиц. Обтекание цилиндра (плоская задача). Обтекание деформированных капель и пузырей. Стесненное движение частиц.

## 2.4. Химическая термодинамика

Система. Состояние системы. Уравнения состояния. Энергия. Работа. Теплота. Нулевой и первый 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.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
<b>СК-ПП-15.1-04-22</b>	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды. Соотношение взаимности Онзагера. Потoki 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).

### **2.5. 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.

### **2.6. 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 массо-

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
	<i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
<b>СК-РП-15.1-04-22</b>	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

переноса 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.

### **2.7. 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 оживленных твердых дисперсных систем. Псевдооживленные слои. Процессы тепло- и массопереноса в псевдооживленных слоях. Механические процессы. Процессы измельчения и измельчающие машины. Классификация процессов и машин. Типы дробилок (щечковые, конусные, валковые, молотковые и роторные). Типы мельниц (баранные – центробежные и вибрационные, ударного действия и др.). Смесители сыпучих материалов, кинетика процессов смешения.

### **2.8. Тепловые процессы**

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

### **2.9. Диффузионные процессы**

Математическое описание равновесия в многокомпонентных системах. Термодинамика равновесных и неравновесных состояний. Математическое описание процессов диффузии. Однофазная неподвижная среда. Стационарная диффузия в дви-

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования <i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
<b>СК-ПП-15.1-04-22</b>	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

жущихся 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.

### **2.10. Математические модели сушильных установок**

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

### **2.11. Математические модели кристаллизационных установок**

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

### **2.12. 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.

### **2.13. 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

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
	<i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
<b>СК-ПП-15.1-04-22</b>	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

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.

#### 2.14. 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 псевдооживленным слоем катализатора. Двухфазная и трехфазная модели реактора. Реакторы с движущимся слоем катализатора. Учет изменения активности катализатора в реакторах с псевдооживленным 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.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
СК-РП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

## 2.15 Список литературы

1. А.Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973, 750 с.
2. А.Н. Плановский, П.И. Николаев. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия, 1987, 496 с.
3. В.В. Кафаров. Основы массопередачи. М.: Высшая школа, 1979, 494 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. В.В. Кафаров. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1985, 444 с.
9. О. Левеншпиль. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969, 620 с.
10. А.М. Кутепов, А.Д. Полянин, З.Д. Запрянов, А.В. Вязьмин, Д.А. Казенин. Химическая гидродинамика. М.: Бюро Квантум, 1996, 336 с.
11. 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.
12. Ю.И. Дытнерский. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975, 229 с.
13. Д.А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987, 802 с.

## 3 Дополнительная программа

Дополнительная программа, самостоятельно составляемая аспирантом (соискателем), включает в себя титульный лист, не менее 15 вопросов по теме диссертации и не менее 15 источников литературы. Дополнительная программа должна быть подписана научным руководителем и согласована с деканом факультета подготовки специалистов высшей квалификации. Пример оформления дополнительной программы приведен в Приложении.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
<b>СК-РП-15.1-04-22</b>	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Пример оформления дополнительной программы

Минобрнауки России

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФСВК

\_\_\_\_\_ Р.Ш. Бедретдинов

«\_\_» \_\_\_\_\_

**Дополнительная программа**

**к кандидатскому экзамену**

по специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий

Нижний Новгород 2022

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
	<i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
<b>СК-РП-15.1-04-22</b>	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

### Дополнительная программа экзамена по специальности

1. Классификация основных процессов и аппаратов химической технологии на основе кинетических закономерностей и по принципу организации процессов
2. Общие принципы расчета процессов и аппаратов. Определение массовых потоков и энергетических затрат с помощью материальных и энергетических (тепловых) балансов.
3. Физическое и математическое моделирование. Применение для моделирования технологических процессов вычислительной техники; ее роль и значение для анализа, расчета и управления основными процессами и аппаратами.
4. Основные требования к исследованию процессов и аппаратов на лабораторных и полужаводских установках с целью распространения результатов на объекты промышленных масштабов
5. Влияние неравномерности распределения элементов потока по временам пребывания на среднюю движущую силу и учет структуры потоков при расчете основных процессов химической технологии
6. Лимитирующие стадии процесса теплопередачи и выбор рациональных гидродинамических режимов движения теплоносителей. Повышение интенсивности теплопередачи путем воздействия на ее лимитирующие стадии.
7. Аппаратурное оформление теплообменных процессов. Виды, устройство, режимы работы теплообменных аппаратов
8. Поверхностные теплообменники: с трубчатыми поверхностями теплообмена, с плоскими поверхностями. Внутренние устройства, применяемые в теплообменниках для повышения турбулентности движения теплоносителей. Оребренные теплообменники
9. Аппаратурное оформление массообменных процессов. Виды, устройство, режимы работы колонных аппаратов
10. Общие методы расчета основных размеров массообменных аппаратов. Аппараты с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. Рациональный выбор взаимного направления движения фаз.
11. Расчет высоты аппаратов на основе модели теоретической ступени изменения концентрации; графическое и аналитическое определение числа теоретических ступеней. Высота эквивалентная теоретической ступени (ВЭТС); эмпирические уравнения по расчету ВЭТС для аппаратов с непрерывным контактом фаз
12. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн. Колонны с подвижной (шаровой) насадкой

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
<b>СК-РП-15.1-04-22</b>	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

13. Тарельчатые колонны и основные конструкции тарелок. Общие направления усовершенствования конструкций тарелок

14. Непрерывная ректификация бинарных смесей. Анализ работы и расчет ректификационных колонн. Определение минимального и рабочего (оптимального) флегмового числа. Зависимость между флегмовым числом, рабочей высотой колонны и энергозатратами (расходами греющего пара и охлаждающей воды).

15. Адсорбционная и ионнообменная аппаратура. Общий принцип устройства и классификация аппаратов для проведения массообменных процессов с твердой фазой

16. Сравнительные характеристики и области применения сушилок различных конструкций. Выбор типа сушилки; расчет основных размеров

17. Сравнение и выбор реакторов. Принципы расчета, моделирования и оптимизации работы реакторов

### Список литературы

1. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование. Система твердое тело-жидкость. Л.: Химия, 1974.

2. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. М.: Химия, 1977.

3. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. М.: Химия, 1978.

4. Багатуров С.А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации. М.: Химия, 1974.

5. Брайнес Я.М. Введение в теорию и расчеты химических и нефтехимических реакторов. М.: Химия, 1978.

6. Бэрд Р.В., Стюарт В.Е., Лайтфут Е.Н. Явления переноса. М.: Мир, 1974.

7. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии, Ч.1, П. М.: Химия, 1981. – 812 с.

8. Жужиков В.А. Фильтрование. М.: Химия, 1980.

9. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии - Изд.9-е, М.: Химия, 1973. – 754 с.

10. Кафаров В.В. Основы массопередачи. Изд.2-ое, М.: Высшая школа, 1972.

11. Кельцев И.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1976.

12. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973.

13. Протодяконов И.О., Марцулевич Н.А., Марков А.В. Явления переноса в процессах химической технологии, М.: Химия, 1981.

14. Рамм В.М. Абсорбция газов. Изд. 2-ое, М.: Химия, 1976. – 767 с.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	<b>Программа кандидатского экзамена</b>
	СК-РП-15.1-04-22
Факультет подготовки специалистов высшей квалификации	

15. Романков П.Г., Курочкина М.А. Гидродинамические процессы химической технологии, 2-ое изд., М.: Химия, 1974.

16. Романков П.Г., Рашковская Н.Б., Фролов В.Ф. Массообменные процессы химической технологии (системы с твердой фазой). Л.: Химия, 1975.

17. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1982.

18. Соколов В.И. Центрифугирование. М.: Химия, 1976.

19. Трейбал Р. Жидкостная экстракция. М.: Химия, 1966.

20. Taghizaden M., Non-isothermal gas-liquid absorption with chemical reaction studies. Temperature measurements' of spherical laminar film surface and comparison with a model for the CO<sub>2</sub>/NaOH system./ M. Taghizaden, C. Jallut, M. Tayakout-Fayolle, J. Lieto/ Chemical engineering Journal, 2000, No.82, 143-148.

21. Nakoryakov V.E. Vapor absorption by immobile solution layer/ V.E. Nakoryakov, N.S. Bufetov, N.I. Grigorieva/ International Journal of Heat and Mass Transfer, 2004, Vol. 47, pp.1525-1533.

22. Пленочная тепло-массообменная аппаратура. Под ред. В.М. Олевского. М.: Химия.– 1988.– С. 240.

23. Пушнов А.С. Каган А., Структура и газораспределение в колонных аппаратах с насадкой для осуществления тепло- и массообменных процессов/LAP LAM-BART Academic Publishing, 2012

24. Стабников В.Н. Расчет и конструирование контактных устройств ректификационных и абсорбционных аппаратов. / Стабников В.Н./Киев: “Техніка”, 1970. – 208 с

25. Кутепов А.М., Общая химическая технология/ А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен// М.: “Высшая школа”, 1990.–520 с.

26. Холпанов Л. П., Шкадов В.Я. Гидродинамика и теплообмен с поверхностью раздела. – М.: “Наука”, 1990

27. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: “Государственное издательство физико-математической литературы”, 1959.

28. Кутателадзе С.С., Накоряков В.Е., Теплообмен и волны в газожидкостных системах.– Новосибирск: Наука, 1984.

29. Масштабный переход в химической технологии: разработка промышленных аппаратов методом гидродинамического моделирования/ Розен А.М., Матюшкин Е.И., Олевский Е.И.; Под. Ред. А.М. Розена. – М: Химия, 1980. – 320 с.

Научный руководитель

д.т.н., профессор

А.А.Сидягин