

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)**

УТВЕРЖДАЮ

**Директор института энергетики,
информационных технологий
и управляющих систем**

**А.В. Белоусов**

«26» мая 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Процессы и аппараты химических технологий»

Научная специальность:

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Форма обучения: очная

Белгород 2022

Рабочая программа дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Составитель: д-р техн. наук, доц. _____  /П.А. Трубаев/

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры «Энергетика теплотехнологии» 12 мая 2022 г., , протокол № 10.

Заведующий кафедрой ЭТ,
канд. техн. наук, доц. _____  / Ю.В. Васильченко/

Рабочая программа согласована на базовой кафедре по группе научных специальностей «Химические технологии, науки о материалах, металлургия» – кафедре Технологии стекла и керамики 12 мая 2022 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой ТСиК,
канд. техн. наук, доц. _____  /В.А. Дороганов/

Рабочая программа одобрена методической комиссией института ЭИТУС 26 мая 2022 г., протокол № 9.

Председатель комиссии,
канд. техн. наук, доц. _____  /А.Н. Семернин/

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень сокращений, используемых в тексте рабочей программы дисциплины	4
2. Цель изучения дисциплины.....	4
3. Требования к результатам освоения дисциплины.....	4
4. Объем дисциплины	5
5. Содержание дисциплины	5
6. Ресурсное обеспечение.....	11
7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	12
8. Основная и дополнительная литература	13
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	14
10. Перечень лицензионного программного обеспечения	15
11. Оценочные средства.....	16
12. Утверждение рабочей программы	17
Приложение 1	

1. Перечень сокращений, используемых в тексте рабочей программы дисциплины

- з.е. – зачетная единица
- ФГТ– Федеральные государственные требования
- ФОС – фонд оценочных средств
- Пр – практическое занятие
- Лаб – лабораторное занятие
- Лек – лекции
- СР – самостоятельная работа

2. Цель изучения дисциплины

Обеспечить аспирантов теоретическими знаниями и практическими навыками для осуществления научно-исследовательской и преподавательской деятельности в области, относящейся к проблематике научной специальности «2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий» с использованием последних достижений науки и техники и опыта научных разработок кафедры «Энергетика теплотехнологии».

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Знать:

– основы методологии теоретических и экспериментальных исследований научной специальности «2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий»;

– способы научного обоснования и решения комплексных профессиональных задач научной специальности «2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий».

Уметь:

– осуществлять теоретические и экспериментальные исследования научной специальности «2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий»;

– анализировать, обосновывать и выбирать адекватные и рациональные способы решения комплексных профессиональных задач научной специальности «2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий».

Владеть:

– современными методами теоретических и экспериментальных исследований научной специальности «2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий»;

– навыками научного обоснования и решения комплексных профессиональных задач научной специальности «2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий».

4. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зач. единиц, 72 часов.
Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины, час	72	72
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:		
лекции	8	8
лабораторные	-	-
практические	-	-
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:		
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	-	-
Расчетно-графическое задание	-	-
Индивидуальное домашнее задание (реферат)	-	-
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	28	28
Экзамен	36	36

5. Содержание дисциплины

5.1 Наименование тем, их содержание и объем

Курс 2 Семестр 4

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
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	1	-	-	3,5

	<p>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.</p>				
2. Типовые модели структуры потоков в аппаратах непрерывного действия					
	<p>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.</p>	0,5	-	-	1,5
3. Течение жидкости в пленках, трубах, струях и пограничных слоях					
	<p>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,</p>	1	-	-	3,5

	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 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. 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).	1	-	-	3,5
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	1	-	-	3,5

	<p>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.</p>				
6. Массообмен, осложненный поверхностной или объемной химической реакцией					
	<p>Массоперенос, осложненный поверхностной химической реакцией.</p> <p>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.</p>	0,25	-	-	1
7. Элементы механики твердых дисперсных сред в процессах химической технологии					
	<p>Структура и структурные связи твердых дисперсных сред. Понятие форм и размеров</p>	0,25	-	-	1

	<p>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 (щековые, конусные, валковые, молотковые и роторные). Типы мельниц (барabanные - центробежные и вибрационные, ударного действия и др.). Смесители сыпучих материалов, кинетика процессов смешения.</p>				
8. Тепловые процессы					
	<p>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.</p>	1	-	-	3,5
9. Диффузионные процессы					
	<p>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.</p>	0,25	-	-	1

10. Математические модели сушильных установок					
	Кинетика сушки. Контактные сушилки. Сушилки со стационарным слоем. Сушилки с псевдооживленным и движущим слоем. Особенности математического описания сушилок.	0,5	-	-	1
11. Математические модели кристаллизационных установок					
	Описание роста кристаллов и зародышеобразования. Типы используемых кристаллизаторов. Математические модели кристаллизаторов различного типа.	0,25	-	-	1
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.	0,25	-	-	1
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	0,5	-	-	1,5

	<p>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.</p>				
14. Гетерогенные химические реакторы					
	<p>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</p>	0,25	-	-	1

	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.				
	ВСЕГО	8	–	–	28

5.2. Содержание практических (семинарских) занятий

Учебным планом не предусмотрено

5.3. Содержание лабораторных занятий

Учебным планом не предусмотрено

6. Ресурсное обеспечение

Кафедра Энергетики теплотехнологии располагает кадровыми ресурсами, гарантирующими качество подготовки аспиранта по специальности в соответствии с ФГТ.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения лекций, консультаций, текущего контроля, самостоятельной работы	Специализированная мебель; доска для рисования маркером; ноутбук или персональный компьютер, подключенный к ТВ-панели для демонстрации мультимедийных материалов и презентаций или к мультимедийному проектору с экраном.
2	Компьютерный зал	Компьютеры в залах подключены к корпоративной компьютерной сети (ККС) университета с выходом в сеть Интернет. При проведении занятий используется мультимедийное проекционное и видеоборудование, мультимедиа-материалы — от презентаций до учебных видеофильмов. Аудитории укомплектованы специальной учебно-лабораторной мебелью, лабораторным оборудованием, учебно наглядными пособиями, лицензионными программными продуктами в рамках программы Microsoft DreamSpark. Лицензированная программа

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
		численного моделирования гидрогазодинамики и теплообмена ANSYS FLUENT (ANSYS Fluent, Лицензия ANSYS Academic Re-search CFD No Expiration Customer # 623673, договор 820-S/2010 от 25.10.2010 г.).
3	Учебная аудитория для проведения самостоятельной работы	Специализированная мебель; доска для рисования маркером; ноутбук или персональный компьютер, подключенный к ТВ-панели для демонстрации мультимедийных материалов и презентаций или к мультимедийному проектору с экраном.
4	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду

8. Основная и дополнительная литература

8.1. Перечень основной литературы

1. Еремин, Н. Ф. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов: учебник. – М.: Высшая школа, 1986. – 280 с.

НТБ: Экземпляры всего: 47

2. Долматова М.О. Тепловые и массообменные процессы в химической технологии: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2019. – 99 с.

https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=696591

3. Системный анализ процессов и аппаратов химической технологии. учебное пособие. – Томск: ТПИ, 2017. – 115 с.

<https://www.iprbookshop.ru/84033.html>

4. Исследование процессов теплообмена в материалах и аппаратах цементной технологии: монография / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко, В.А. Украинский, В.В. Сухорослова. – Белгород: Изд-во БГТУ; БИЭИ, 2013. – 190 с.

НТБ: Экземпляры всего: 7 экз.

5. Трубаев П.А., Кузнецов В.А., Беседин П.В. Методы компьютерного моделирования горения и теплообмена во вращающихся печах: монография – Белгород: Изд-во БГТУ; БИЭИ, 2008. – 230 с.

НТБ: Экземпляры всего: 7 экз.

6. Трубаев П.А. Термодинамический и эксергетический анализ в теплотехнологии: монография – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 206 с.

НТБ: Экземпляры всего: 20.

URL: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2017062115234356400000655337> (доступ зарегистрированным пользователям)

7. Беседин П. В., Трубаев П.А. Исследование и оптимизация процессов в технологии цементного клинкера: монография – Белгород: Изд-во БелГТАСМ: БИЭИ, 2004. – 420 с.

НТБ: Экземпляры всего: 11.

8. Беседин П. В., Трубаев П.А. Энерготехнологический анализ процессов в технологии цементного клинкера: монография / П. В. Беседин, П. А. Трубаев. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ: БИЭИ, 2005. – 456 с.

НТБ: Экземпляры всего: 33.

9. Кузнецов, В. А., Трубаев П.А. Математические модели тепломассопереноса в высокотемпературных установках: монография. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. - 270 с.

НТБ: Экземпляры всего: 8

URL: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2017112816464969400000655211> (доступ зарегистрированным пользователям)

8.2. Перечень дополнительной литературы

1. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. – М.: Машиностроение, 2011. - 374 с.

НТБ: Экземпляры всего: 10

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2014

2. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения: справочник в 2 кн. Кн. 1. – М.: Теплоэнергетик, 2003, 2005. - 688 с.

НТБ: Экземпляры всего: 5.

3. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения: справочник в 2 кн. Кн. 2. – М.: Теплоэнергетик, 2003, 2005. – 760 с.

НТБ: Экземпляры всего: 5.

http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=436283&sr=1

4. Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий: монография. – Новосибирск: СО РАН, 2009. – 399 с.

http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=97882&sr=1

5. Ли Р. И. Основы научных исследований [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. – 190 с. <http://www.iprbookshop.ru/22903>

6. Рыжков И.Б. Основы научных исследований и изобретательства [Электронный ресурс]. – М.: Лань, 2013. – 224 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=30202

7. Семенов Б. А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс]. – М.: Лань, 2013. – 393 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5107

8. Назаров В. И. , Буров А. Л. , Криксина Е. Н. Теплотехнические измерения и приборы. Лабораторный практикум: учебное пособие. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 132 с.

http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=235689&sr=1

9. Ковалевский В.И. Основы научного исследования в технике: монография. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 272 с.

http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=618242 (Режим доступа: для авторизир. пользователей)

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <https://elibrary.ru> – Научная электронная библиотека eLIBRARY

2. <https://www.sciencedirect.com/> – доступ к научным публикациям издательства Elsevier.

3. <https://www.researchgate.net/> – ResearchGate, научно-информационная социальная сеть и средство сотрудничества учёных всех научных дисциплин.

4. <https://searchplatform.rospatent.gov.ru/tims> – Роспатент, поисковая платформа.

5. <https://yandex.ru/patents> – Яндекс.Патенты, поиск по патентным документам.

6. <https://ldiss.rsl.ru/> – Электронная библиотека диссертаций РГБ

7. <http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent> – официальный сайт.

8. <http://www.cadfem-cis.ru/knowledge/video-cadfem/> – Видеоуроки по вычислительной гидродинамике в ANSYS.

10. Перечень лицензионного программного обеспечения

0.

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
		ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
5	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
6	Программные продукты Autodesk	Сертификат официального стратегического партнера компании Autodesk Inc. (США) в разработке и реализации программ для развития профессионального образования от 2014 г.
7	Ansys Flyent	Лицензия ANSYS Academic Research CFD от 30-Nov-2011 No Expiration Customer # 623673 (бессрочная).

11. Оценочные средства

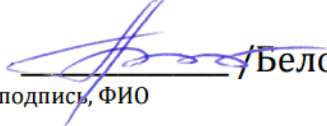
Оценочные средства для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля знаний по дисциплине «Процессы и аппараты химических технологий» представлены в виде фонда оценочных средств (далее – ФОС) в Приложении 1 к настоящей рабочей программе дисциплины.

12. Утверждение рабочей программы

Рабочая программа без изменений утверждена на 2023/2024 учебный год.

Протокол № 13 заседания ЭТ кафедры от 25 мая 2023 г.

Заведующий кафедрой ЭТ  /Васильченко Ю.В./
подпись, ФИО

Директор института ЭИТиУС  /Белоусов А.В./
подпись, ФИО

Рабочая программа без изменений утверждена на 2023/2024 учебный год.

Протокол № 10 заседания ЭТ кафедры от 10 июня 2024 г.

Заведующий кафедрой ЭТ  /Васильченко Ю.В./
подпись, ФИО

Директор института ЭиА  /Белоусов А.В./
подпись, ФИО

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
входного, текущего контроля/промежуточной аттестации аспирантов
при освоении программы аспирантуры, реализующей ФГТ

ДИСЦИПЛИНА
«Процессы и аппараты химических технологий»

Научная специальность:

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Белгород 2022

1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности в процессе освоения образовательной программы

1.1. Опрос на занятии (перечень примерных контрольных вопросов)

1. 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.

2. 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.

3. Постановка задачи математического описания процесса. Два подхода к составлению математической модели процесса: детерминированный и стохастический. Их возможности и сферы использования.

4. Теория подобия и анализ размерностей. Подобные преобразования, физическое моделирование, метода характеристических масштабов.

5. Основы теории переноса количества движения, энергии, массы; гидродинамика и гидродинамические процессы: основные уравнения движения жидкостей, гидродинамическая структура потоков, сжатие газов.

6. Модель идеального смешения. Вывод дифференциального уравнения модели. Вид функции отклика модели на стандартные возмущения.

7. Модель идеального вытеснения. Вывод дифференциального уравнения модели. Передаточная функция. Вид функции отклика и частотные характеристики модели.

8. Энтропийная оценка меры упорядоченности движения частиц. Каноническое и микроканоническое распределение Гиббса. Фактор распределения как выражение второго закона термодинамики.

9. Уравнения и граничные условия гидродинамики.

10. Струйные течения. Ламинарное течение в трубах различной формы.

11. Термодинамическая система и ее состояние. Уравнения состояния. Энергия. Работа. Теплота.

12. Нулевой и первый законы термодинамики. Основные законы термодинамики. О равновесных и обратимых процессах.

13. Второй и третий законы термодинамики.
14. Линейная термодинамика в задачах химии и химической технологии. Уравнения сохранения.
15. Неравновесная термодинамика необратимых процессов в химической технологии.
16. Эксергия, эксергетический метод анализа химико-технологических систем; информационно-термодинамический принцип.
17. Использование методов оптимизации при создании энерго- и ресурсосберегающих производств.
18. Уравнение и граничные условия теории конвективного тепло- и массопереноса.
19. Тепло- и массоперенос при ламинарном течении в круглой и плоской трубе.
20. Основные уравнения тепловых процессов.
21. Классификация тепловых аппаратов.
22. Теплообменники с передачей тепла через стенку.
23. Теплообменники смешения.
24. Теплообменники с идеальной изоляцией, теплообменники с потерями тепла через стенку.
25. Математические модели кожухотрубных теплообменников.
26. Теплообмен излучением. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между поверхностями твердых тел, между газом и твердой поверхностью.
27. Кинетика сушки. Контактные сушилки. Сушилки со стационарным слоем. Сушилки с псевдоожиженным и движущим слоем.
28. Особенности математического описания сушилок.

1.2. Тестовые задания (25)

1. Первый закон термодинамики в общем виде для потока вещества выражается с помощью уравнения:
 - а) $dq = wdw + gdz + dh + dl_{\text{мех}} + dl_{\text{тр}}$
 - б) $dq = du - dl$;
 - в) $dq = dh + pdv$;
 - г) $dq = dh + vdp$;

2. Что такое теплопроводность?
 - а) это перенос теплоты структурными частицами вещества в процессе их теплового движения;
 - б) это перенос теплоты, обусловленный пространственным перемещением вещества;
 - в) это перенос теплоты, осуществляемый в результате процессов превращения части внутренней энергии тела в энергию электромагнитного излучения.

- г) теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твердую стенку или поверхность раздела.

3. Что называется, теплопередачей?

- а) теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твердую стенку или поверхность раздела.
- б) перенос теплоты от стенки к теплоносителю;
- в) перенос теплоты от теплоносителя к стенке;
- г) теплообмен внутри стенки.

4. Выберите один из предложенных вариантов ответа

Какое число подобия в уравнении подобия при изучении теплоотдачи всегда является определяемым (искомым)?

- а) число Нуссельта;
- б) число Рейнольдса;
- в) число Прандтля;
- г) число Био.

5. Основным определяющим критерием подобия при расчёте теплоотдачи при свободном движении жидкости является критерий:

- а) Gr ;
- б) Re ;
- г) Bi ;
- д) Fo .

6. Выберите один вариант ответа. В соответствии с законом Кирхгофа степень черноты любого тела в состоянии термического равновесия численно равно коэффициенту...

- а) поглощению A при той же температуре;
- б) отражению R при той же температуре;
- в) пропусканию D при той же температуре;
- г) сумме поглощения A , отражения R и пропускания D при той же температуре ($A+R+D$).

7. Выберите один или несколько вариантов ответа. Какие из перечисленных параметров определяют величину коэффициента сопротивления трения движению потока?

- а) относительная шероховатость стенок канала и число Рейнольдса;
- б) длина канала;
- в) эквивалентный диаметр канала;
- г) угол изменения направления потока.

8 Сопротивления трения и местные сопротивления в канале прямо пропорциональны ...

- а) квадрату скорости потока;
- в) скорости потока;
- г) диаметру канала
- г) геометрической высоте сети.

9. Какое из этих уравнений является основным кинетическим уравнением для массообменных процессов

а) $\frac{dM}{Sdt} = \frac{\Delta C}{R_3} = K_3 \Delta C;$

б) $\frac{dV}{Sdt} = \frac{\Delta P}{R_1} = K_1 \Delta P;$

в) $\frac{dQ}{Sdt} = \frac{\Delta t}{R_2} = K_2 \Delta t;$

г) ответа нет.

10. Выберите один вариант ответа. Какое из приведенных уравнений является уравнением теплового баланса для двух теплоносителей, один из которых меняет фазовое состояние.

а) $G_1 c_1 (t_1^H - t_1^K) \eta = G_2 c_2 (t_2^K - t_2^H);$

б) $G_1 (i_1^H - i_1^K) \eta = G_2 c_2 (t_2^K - t_2^H);$

в) $G_1 (i_1^H - i_1^K) \eta = G_2 (i_2^K - i_2^H);$

г) ответа нет.

11. Расход греющего пара: в многокорпусной выпарной установке, работающей под атмосферным давлением по сравнению с выпарной установкой, работающей под вакуумом

- а) выше;
- б) ниже;
- в) одинаков;
- г) ответа нет.

12. Выберите один вариант ответа. Какие процессы протекают при тепловой сушке материала?

- а) теплообменные и массообменные;
- б) только теплообменные;
- в) только массообменные;
- г) нет правильного ответа.

13. Выберите один вариант ответа. Что в уравнении внутреннего тепломассообмена в материале $q = -\lambda \nabla t + \alpha_m \rho_0 (-i_u \nabla U \pm i_t \delta \nabla t \pm i_p \delta_p \nabla P)$, обозначается буквой i

- а) теплота, перемещающаяся в материале с удельным потоком массы;
- б) орт-вектор, характеризующий направление потока массы влаги в материале;
- в) скрытая теплота парообразования влаги при нормальных условиях;
- д) скрытая теплота парообразования влаги при рабочих условиях.

14. При построении процесса сушки на I-х диаграмме линия действительной сушки без дополнительного подогрева сушильного агента

- а) пройдет ниже линии теоретической сушки;
- б) совпадет с линией теоретической сушки;
- в) пройдет выше линии теоретической сушки;
- г) пойдет вертикально вниз.

15. Коэффициент теплопередачи в теплообменнике составляет 1,5 кВт/(м²·К), а поверхность теплообмена – 2 м², средний температурный напор равен 50°C. Определите количество теплоты, передаваемое от горячего теплоносителя холодному

- а) 150 кВт
- б) 75 кВт
- в) 50 кВт
- г) 25 кВт

16. Коэффициент теплоотдачи со стороны теплоносителя, протекающего внутри труб, значительно выше коэффициента теплоотдачи со стороны теплоносителя, протекающего в межтрубном пространстве. Целесообразно ли в таком случае развитие поверхности теплообмена за счет оребрения, и на какой поверхности труб целесообразно делать оребрение?

- а) целесообразно, на наружной поверхности труб;
- б) целесообразно, на внутренней поверхности труб;
- в) нецелесообразно;
- г) нет ответа.

17. Для чего необходим сепаратор в поверхностных выпарных аппаратах?

- а) для отделения капель жидкости от вторичного пара;
- б) для отделения вторичного и первичного пара;
- в) для очистки входящего потока;
- г) нет ответа.

18. На какие процессы тратится вся подводимая теплота при мягких режимах сушки в периоде постоянной скорости сушки?

- а) на испарение поверхностной влаги;
- б) на нагрев материала;
- в) на компенсацию потерь в аппарате;
- г) ответа нет.

19. Количество теплоты, отдаваемое горячим теплоносителем в теплообменнике, составляет 15 кВт. Определите количество теплоты, принимаемое нагреваемым теплоносителем, если коэффициент полезного действия теплообменника равен 80%.

- а) 12 кВт;
- б) 15 кВт;
- в) 18,75 кВт;
- г) 75 кВт.

20. Определите расход нагреваемой воды в поверхностном теплообменнике, если количество теплоты, передаваемое греющим теплоносителем – 10 МВт. Температура нагреваемой воды перед теплообменником равна 10 °С, после него 90 °С. Теплоемкость воды принять равной 4,2 кДж/(кг·°С). Потерями теплоты в теплообменнике пренебречь.

- а) 30 кг/с;
- б) 0,03 кг/с;
- в) 30 т/с;
- г) 30 кг/ч.

21. По участку технологического трубопровода с внутренним диаметром 100 мм проходит 3,6 т/ч среды, удельный объем которой составляет 0,314 м³/кг. Определите среднюю скорость среды.

- а) 40 м/с;
- б) 400 м/с;
- в) 4 м/с;
- г) 10 м/с.

22. Какой вид сепарации капель жидкости от пара имеет место при резком ускорении потока и последующем снижении его скорости?

- а) Инерционная сепарация;
- б) центробежная сепарация;
- в) абсорбционная сепарация;
- д) адсорбционная сепарация.

23. Какие виды теплотехнологических реакторов относятся к однокамерным?

- а) однозонный и многозонный;
- в) только секционированный;
- г) только комбинированный;
- д) секционированный и комбинированный.

24. Какие виды теплотехнологических реакторов относятся к многокамерным?

- а) секционированный и комбинированный;
- б) однозонный и многозонный;
- в) только секционированный;
- г) только комбинированный.

25. Что такое «Совокупность элементарных процессов (нагрева, охлаждения, плавления, кристаллизации, кипения, конденсации и др.), обеспечивающих конкретное технологически регламентируемое тепловое воздействие на сырье, материалы, полупродукты (полуфабрикаты) на отдельных этапах производственного цикла»

- а) теплотехнологический процесс;
- б) теплотехнический процесс;
- в) химический процесс;
- г) химико-технологический процесс.

1.3. Примерные темы докладов

1. Системный анализ и его методы.
2. Термодинамика и ее метод.
3. Термодинамические циклы.
4. Основы химической термодинамики. Термохимия.
5. Современные теплообменные системы.
6. Интенсификация процессов теплообмена.
7. Использование математического моделирования, пакетов прикладных программ, банков данных для расчета ПАХТ.
8. Определение основных характеристик работы теплотехнологических агрегатов по результатам испытаний.
9. Методологические основы создания энерго- и материалосберегающих, экологически совершенных теплотехнологических установок и систем.
10. Эксергетический анализ теплотехнологических процессов и установок.
11. Принципы построения энергосберегающих технологических схем.
12. Физическое и математическое моделирование теплотехнологических процессов.
13. Использование теории подобия в инженерном эксперименте.

14. Математическое моделирование и его методы.
15. Использование методов оптимизации при создании энерго- и ресурсосберегающих производств

2. Промежуточная аттестация

2.1. Вопросы к зачету

Учебным планом не предусмотрен.

2.2. Вопросы к экзамену

1. 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.

2. 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.

3. Постановка задачи математического описания процесса. Два подхода к составлению математической модели процесса: детерминированный и стохастический. Их возможности и сферы использования.

4. Теория подобия и анализ размерностей. Подобные преобразования, физическое моделирование, метода характеристических масштабов.

5. Основы теории переноса количества движения, энергии, массы; гидродинамика и гидродинамические процессы: основные уравнения движения жидкостей, гидродинамическая структура потоков, сжатие газов.

6. Модель идеального смешения. Вывод дифференциального уравнения модели. Вид функции отклика модели на стандартные возмущения.

7. Модель идеального вытеснения. Вывод дифференциального уравнения модели. Передаточная функция. Вид функции отклика и частотные характеристики модели.

8. Энтропийная оценка меры упорядоченности движения частиц. Каноническое и микроканоническое распределение Гиббса. Фактор распределения как выражение второго закона термодинамики.

9. Уравнения и граничные условия гидродинамики.

10. Струйные течения. Ламинарное течение в трубах различной формы.

11. Термодинамическая система и ее состояние. Уравнения состояния. Энергия. Работа. Теплота.
12. Нулевой и первый законы термодинамики. Основные законы термохимии. О равновесных и обратимых процессах.
13. Второй и третий законы термодинамики.
14. Линейная термодинамика в задачах химии и химической технологии. Уравнения сохранения.
15. Неравновесная термодинамика необратимых процессов в химической технологии.
16. Эксергия, эксергетический метод анализа химико-технологических систем; информационно-термодинамический принцип.
17. Использование методов оптимизации при создании энерго- и ресурсосберегающих производств.
18. Уравнение и граничные условия теории конвективного тепло- и массопереноса.
19. Тепло- и массоперенос при ламинарном течении в круглой и плоской трубе.
20. Основные уравнения тепловых процессов.
21. Классификация тепловых аппаратов.
22. Теплообменники с передачей тепла через стенку.
23. Теплообменники смешения.
24. Теплообменники с идеальной изоляцией, теплообменники с потерями тепла через стенку.
25. Математические модели кожухотрубных теплообменников.
26. Теплообмен излучением. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между поверхностями твердых тел, между газом и твердой поверхностью.
27. Кинетика сушки. Контактные сушилки. Сушилки со стационарным слоем. Сушилки с псевдооживленным и движущим слоем.
28. Особенности математического описания сушилок.

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности в процессе освоения образовательной программы

Контроль освоения дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» на этапах текущей, промежуточной аттестации проводится в соответствии с действующим Положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Критерии оценивания знаний обучающихся при проведении опроса:

- **Оценка «отлично»** – обучающийся четко выражает свою точку зрения по рассматриваемым вопросам, приводя соответствующие примеры.

- **Оценка «хорошо»** – обучающийся допускает отдельные погрешности в ответе.

- **Оценка «удовлетворительно»** – обучающийся обнаруживает пробелы в знаниях основного учебного и нормативного материала.

- **Оценка «неудовлетворительно»** – обучающийся обнаруживает существенные пробелы в знаниях основных положений дисциплины, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение конкретной практической задачи.

Критерии оценки знаний обучающихся при проведении тестирования:

Результат тестирования оценивается по процентной шкале оценки.

Каждому обучающемуся предлагается комплект тестовых заданий из 25 вопросов:

- **Оценка «отлично»** – 25-22 правильных ответов.

- **Оценка «хорошо»** – 21-18 правильных ответов.

- **Оценка «удовлетворительно»** – 17-13 правильных ответов.

- **Оценка «неудовлетворительно»** – менее 13 правильных ответов.

Критерии оценки доклада:

- **Оценка «отлично»** ставится, если выполнены все требования к написанию и защите доклада: обозначена проблема и обоснована её актуальность, сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция, сформулированы выводы, тема раскрыта полностью, выдержан объём, соблюдены требования к внешнему оформлению, даны правильные ответы на дополнительные вопросы.

- **Оценка «хорошо»** ставится, если основные требования к докладу и его защите выполнены, но при этом допущены недочёты. В частности, имеются неточности в изложении материала; отсутствует логическая последовательность в суждениях; не выдержан объём реферата; имеются упущения в оформлении; на дополнительные вопросы при защите даны неполные ответы.

- **Оценка «удовлетворительно»** ставится, если имеются существенные отступления от требований к докладу. В частности: тема освещена лишь частично; допущены фактические ошибки в содержании доклада или при ответе на дополнительные вопросы; во время защиты отсутствует вывод.

- **Оценка «неудовлетворительно»** ставится, если тема доклада не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание проблемы.

Критерии оценки при проведении экзамена:

- **Оценка «отлично»** выставляется аспиранту, при наличии всестороннего, систематического и глубокого знания учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется аспирантам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала;

- **Оценка «хорошо»** выставляется аспиранту, если он показывает полное знание учебно-программного материала, успешно выполняет задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется аспирантам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебы и профессиональной деятельности;

- **Оценка «удовлетворительно»** выставляется аспиранту, в случае знания основного материала учебной программы в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется аспирантам, допустившим погрешности в ответе на экзамене/зачете и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя;

- **Оценка «неудовлетворительно»** выставляется аспиранту, при наличии пробелов в знаниях основного материала учебной программы, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится аспирантам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей.