

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 06 » марта 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Математические модели и анализ процессов тепло-массопереноса  
и химических реакторов как объектов управления

\_\_\_\_\_  
(наименование)

**Форма обучения:** \_\_\_\_\_ очная

\_\_\_\_\_  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** \_\_\_\_\_ магистратура

\_\_\_\_\_  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ 144 (4)

\_\_\_\_\_  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и  
производств

\_\_\_\_\_  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Автоматизация и управление химико-технологическими  
процессами и производствами

\_\_\_\_\_  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

формирование системы знаний, навыков и умений разработки математических моделей химико-технологических процессов и осуществления их анализа как объектов управления и оптимизации с применением методов компьютерного моделирования.

Задачи дисциплины: изучение общих принципов системного анализа химико-технологических процессов и построения их математических моделей; моделей структуры потоков в технологических аппаратах, математических моделей процессов теплообмена, массообмена и химического превращения в технологическом оборудовании.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

математические модели типовых структур потоков в аппаратах, процессов теплопередачи, химических превращений в реакторах, процессов массообмена;  
пакеты прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-1ПК-1.1	знает общие принципы построения физико-химических моделей процессов; общие принципы построения информационных матриц и систем уравнений МО; общие принципы построения блок-схемы алгоритмов решений систем уравнений МО; математические модели процессов теплопередачи; математические модели химических превращений в реакторах; математические модели процессов массообмена.	Знает основные методы анализа функционирования АСУП; национальную и международную нормативную базу в области проектирования АСУП	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	умеет составлять информационные матрицы для конкретного процесса; проводить анализ информационных матриц с целью решения систем уравнений МО для конкретного процесса; построить блок-схему алгоритма решения систем уравнений МО для конкретного процесса;	Умеет применять основные методы анализа функционирования АСУП; решать задачи аналитического характера, предполагающих выбор и многообразие актуальных способов решения задач	Защита лабораторной работы
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	владеет навыками математического моделирования конкретного процесса (объекта); навыками применения для математического моделирования компьютерного пакета моделирующих программ.	Владеет навыками разработки моделей технологических объектов и элементов АСУП	Дифференцированный зачет

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	72		72
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	32		32
- лабораторные работы (ЛР)	36		36
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4		4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72		72
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9		9
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144		144

#### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				
Общие принципы построения моделей химико-технологических процессов.	4	0	0	4
Тема 1. Математическое описание (МО) процессов системами дифференциальных уравнений. Информационные матрицы систем уравнений МО и блок-схемы алгоритмов их решений. Тема 2. Математические модели движения жидкости в гидравлических системах в стационарных и нестационарных режимах.				
Математические модели процессов теплопередачи в поверхностных теплообменниках.	4	8	0	12
Тема 3. Математические модели стационарного режима процесса теплопередачи в теплообменниках типа "смешение-смешение" и "смешение-вытеснение". Тема 4. Математические модели стационарного режима процесса теплопередачи в прямоточном и противоточном теплообменниках типа "труба в трубе".				
Математические модели химических превращений в реакторах.	10	10	0	20
Тема 5. Кинетика сложной химической реакции. Выбор ключевых компонентов химической реакции. Тема 6. Математические модели стационарного и нестационарного режимов политропического процесса в реакторе с мешалкой и рубашкой. Тема 7. Устойчивость тепловых режимов политропических реакторов с мешалкой. Тема 8. Математическая модель стационарного режима политропического процесса в трубчатом реакторе с прямоточным и противоточным режимами движения теплоносителя в рубашке.				
Математические модели процессов разделения: ректификации и абсорбции.	10	10	0	20
Тема 9. Математическая модель процесса непрерывной многокомпонентной ректификации в тарельчатой колонне. Тема 10. Математическая модель процесса непрерывной многокомпонентной ректификации в насадочной колонне. Тема 11. Математическая модель процесса многокомпонентной абсорбции в насадочной колонне.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Пакеты моделирующих программ.	4	8	0	16
Тема 12. Идентификация математического описания и оптимизация химико-технологических процессов. Тема 13. Принципы функционирования и этапы работ моделирующей программы, основные модули, обеспечивающие их выполнение.				
ИТОГО по 2-му семестру	32	36	0	72
ИТОГО по дисциплине	32	36	0	72

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Освоение пакета моделирующих программ (ПМП) динамики химико-технологических процессов.
2	Моделирование в ПМП динамики процессов теплопередачи в теплообменниках различных типов.
3	Моделирование в ПМП динамики процесса в политропическом реакторе.
4	Моделирование в ПМП процессов в трубчатых реакторах с прямотоком и противотоком движения теплоносителя в рубашке.
5	Моделирование в ПМП нестационарного режима изотермического трубчатого реактора.
6	Моделирование в ПМП динамики процесса многокомпонентной ректификации в тарельчатой колонне.
7	Моделирование в ПМП динамики процесса многокомпонентной ректификации в насадочной колонне.
8	Моделирование в ПМП динамики процесса многокомпонентной абсорбции в насадочной колонне.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

## 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Гартман Т.Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. - М.: Академкнига, 2008.	25
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии : учебное пособие для вузов / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. - Москва: Химия, 1975.	15
2	Кафаров В. В. Основы автоматизированного проектирования химических производств / В. В. Кафаров, В. Н. Ветохин. - Москва: Наука, 1987.	15
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология : научно-технический журнал / Ивановский государственный химико-технологический университет. - Иваново: Изд-во ИГХТУ, 1958 - .	1
2	Теоретические основы химической технологии : журнал / Российская академия наук. Отделение химии и науки о минералах. - Москва: Наука, 1967 - .	1
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Перерва, О.В. Компьютерное моделирование статических и динамических режимов работы ректификационных установок: практическое руководство для технологов и проектировщиков / О.В. Перерва, Т.Н. Гартман. — Москва : Лаборатория знаний, 2018. — 208 с.	<a href="https://e.lanbook.com/book/103029">https://e.lanbook.com/book/103029</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Теоретические основы химической технологии : журнал / Российская академия наук. Отделение химии и науки о минералах. - Москва: Наука, 1967 - .	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUser49072">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUser49072</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Гартман, Т.Н. Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики : учебное пособие / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 404 с.	<a href="https://e.lanbook.com/book/126905">https://e.lanbook.com/book/126905</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	AutoCAD Design Suite Ultimate, академическая лиц., Education Network 3000 concurrent users, ПНИПУ ОЦНИТ 2019
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	Experion PKS (ХТФ, каф АТП)

Вид ПО	Наименование ПО
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	SIMIT Simulation v9.1. Trainer Package (ХТФ лиц.доп.сог. CDL5260--)
Среды разработки, тестирования и отладки	MS Visual studio 2019 community (Free)
Среды разработки, тестирования и отладки	Среда разработки RStudio

#### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

#### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Проектор, экран настенный, маркерная доска, персональные компьютеры (10 шт.), компьютерные столы (10 шт.), стол преподавателя	1
Лекция	Мультимедиа комплекс (проектор, ноутбук, экран). Доска, парты, стол преподавателя.	1

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

**«Математические модели и анализ процессов тепло-массопереноса и химических реакторов как объектов управления»**

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

**Направление подготовки:** 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

**Направленность (профиль) образовательной программы:** Автоматизация и управление химико-технологическими процессами и производствами

**Квалификация выпускника:** магистр

**Выпускающая кафедра:** Оборудование и автоматизация химических производств

**Форма обучения:** очная

**Курс:** 1                      **Семестр(ы):** 2

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану:  $\frac{4}{3E}$   
Часов по рабочему учебному плану:  $\frac{144}{ч}$

**Форма промежуточной аттестации:**

Диф. зачет: 2 семестр

Пермь 2019г.

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно рабочей программы дисциплины (РПД) освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (2-го семестра учебного плана) и разбито на 5 учебных модулей (разделов). В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (таблица 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, выполнении заданий на практических занятиях, сдаче отчетов по лабораторным работам и дифференцированного зачета.

Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий		Рубежный		Итоговый
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Диф. зачет
<b>Усвоенные знания</b>					
<b>3.1</b> знать общие принципы построения физико-химических моделей процессов;		+		+	+
<b>3.2</b> знать общие принципы построения информационных матриц и систем уравнений МО;		+		+	+
<b>3.3</b> знать общие принципы построения блок-схемы алгоритмов решений систем уравнений МО;		+		+	+
<b>3.4</b> знать математические модели процессов теплопередачи;		+		+	+
<b>3.5</b> знать математические модели химических превращений в реакторах;		+		+	+
<b>3.6</b> знать математические модели процессов массообмена.		+		+	+
<b>У.1</b> уметь составлять информационные матрицы для конкретного процесса;			+		+
<b>У.2</b> уметь проводить анализ информационных матриц с целью решения систем уравнений МО для конкретного процесса;			+		+
<b>У.3.</b> уметь построить блок-схему алгоритма			+		+

решения систем уравнений МО для конкретного процесса;					
<b>Приобретенные владения</b>					
<b>В.1</b> владеть навыками математического моделирования конкретного процесса (объекта);			+		+
<b>В.2</b> владеть навыками применения для математического моделирования компьютерного пакета моделирующих программ.			+		+

*С* – собеседование по теме; *ТО* – коллоквиум (теоретический опрос); *ОЛР* – отчет по лабораторной работе; *Т/КР* – рубежное тестирование (контрольная работа);  
*ТВ* – теоретический вопрос;

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

### **2.1 Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **2.2 Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (таблица 1.1) проводится в форме защиты отчетов по лабораторным работам и рубежных контрольных работ (после изучения модуля (раздела) учебной дисциплины).

### **2.2.1 Выполнение и защита отчетов по лабораторным работам**

Всего запланировано 8 лабораторных работ. Темы лабораторных работ приведены в РПД. На лабораторной работе каждому студенту дается индивидуальное задание, отличающееся числовыми исходными данными. Защита отчетов проводится каждым студентом индивидуально.

*Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.*

*Результаты защиты выполненных лабораторных работ по 4-х балльной шкале оценивания знаний и умений заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.*

### **2.2.2 Рубежная контрольная работа**

Всего запланировано две рубежные контрольные работы после освоения студентами учебных модулей (разделов) дисциплины.

#### ***Типовые вопросы к контрольной работе № 1.***

1. Физико-химические модели (ФХМ) как основа математического моделирования химико-технологических процессов (ХТП), объекты моделирования с сосредоточенными и распределенными параметрами, построение математического описания (МО) и его параметризация – задача идентификации ХТП при моделировании, общие принципы построения ФХМ процессов.
2. Математическое описание процессов системами конечных нелинейных уравнений и системами с обыкновенными дифференциальными уравнениями.
3. Информационные матрицы систем уравнений математического описания процессов.
4. Пример построения блок-схемы алгоритма решения системы конечных нелинейных уравнений.
5. Пример составления алгоритма решения системы с обыкновенными дифференциальными уравнениями.
6. Идентификация химико-технологических процессов, блок-схема процедуры идентификации. Задачи структурной и параметрической идентификации математического описания ХТП.
7. Статистический подход к задаче идентификации ХТП, регрессионный анализ, прямая и обратная задачи моделирования.
8. Решение задачи оптимизации – основная задача исследования операций (ИО) применительно к химической технологии (ХТ), формулировка задач оптимизации при проектировании новых и реконструкции действующих ХТП, задач оптимизации при управлении ХТП, в т.ч. оптимального управления, типы ММ, используемых для решения задач оптимизации ХТП.
9. Этапы решения задачи оптимизации для объектов ХТ с сосредоточенными координатами (параметрами)
10. Пакеты моделирующих программ (ПМП), основные принципы функционирования моделирующей программы.
11. Режимы работы ПМП, таблицы стандартных пиктограмм для графического отображения технологических схем.

## ***Типовые вопросы к контрольной работе № 2.***

1. Основные понятия компьютерного моделирования химических производств. Системный анализ химико-технологических процессов. Построение систем уравнений математического описания химико-технологических процессов.
2. Метод множественной регрессии Брандона для построения нелинейных эмпирических моделей.
3. Математические модели стационарных и нестационарных режимов движения жидкости в простых гидравлических системах.
4. Математическая модель стационарного режима процесса теплопередачи в теплообменнике типа «смешение—смешение». Математическая модель стационарного режима процесса теплопередачи в теплообменнике типа «смешение—вытеснение».
5. Математическая модель стационарного режима процесса теплопередачи в прямоточном теплообменнике типа «труба в трубе» (решение задачи Коши). Математическая модель стационарного режима процесса теплопередачи в противоточном теплообменнике типа «труба в трубе» (решение краевой задачи).
6. Математические модели химических превращений в реакторах. Микрокинетика сложной химической реакции.
7. Математическая модель стационарного режима политропического процесса в реакторе с мешалкой и рубашкой (произвольная кинетическая схема химической реакции). Математическая модель нестационарного режима политропического процесса в реакторе с мешалкой и рубашкой (произвольная кинетическая схема химической реакции).
8. Устойчивость тепловых режимов подтропических реакторов с мешалкой.
9. Математическая модель нестационарного режима процесса химического превращения с простейшей кинетической схемой реакции в изотермическом трубчатом реакторе.
10. Математическая модель процесса непрерывной многокомпонентной ректификации в насадочной колонне.

*Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.*

*Результаты рубежных (промежуточных) контрольных работ по 4-балльной шкале оценивания знаний, умений и владений заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации по дисциплине.*

### **2.2. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Формой промежуточной аттестации по дисциплине является дифференцированный зачет.

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

#### **2.3.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

#### **2.3.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине**

##### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Физико-химические модели (ФХМ) как основа математического моделирования химико-технологических процессов (ХТП), объекты моделирования с сосредоточенными и распределенными параметрами, построение математического описания (МО) и его параметризация – задача идентификации ХТП при моделировании, общие принципы построения ФХМ процессов.
2. Математическое описание процессов системами конечных нелинейных уравнений и системами с обыкновенными дифференциальными уравнениями.
3. Информационные матрицы систем уравнений математического описания процессов

##### **Типовые вопросы и практические задания для контроля приобретенных умений**

1. Составление информационной матрицы системы конечных нелинейных уравнений.
2. Составление информационной матрицы системы с обыкновенными дифференциальными уравнениями.
3. Построение блок-схемы алгоритма решения системы конечных нелинейных уравнений.
4. Составление алгоритма решения системы с обыкновенными дифференциальными уравнениями.
5. Пример формулирования задачи оптимизации для моделей в виде систем нелинейных уравнений.
6. Пример формулирования задачи оптимизации для моделей в виде систем с дифференциальными уравнениями.

##### **Типовые задания для контроля приобретенных владений:**

1. С применением пакета моделирующих программ решить задачу моделирования стационарного режима процесса теплопередачи в прямоточном теплообменнике типа «труба в трубе» (решение задачи Коши).
2. С применением «решателей» пакета моделирующих программ решить задачу моделирования кинетики сложной химической реакции

*Полный перечень вопросов к контрольным работам и практических заданий хранится на выпускающей кафедре.*

### **2.3.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.