

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Максимов Алексей Борисович  
Должность: директор департамента по образовательной политике  
Дата подписания: 29.09.2023 12:55:13  
Уникальный программный ключ:  
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Математическое моделирование технологических процессов  
отрасли»**

**Направление подготовки 15.04.02 – «Технологические машины и  
оборудование»**

**ОП: «Инжиниринг технологических производств»**

Квалификация (степень) выпускника  
**Магистр**

Формы обучения  
**Очная**

Москва 2022 г.

**Разработчик(и):**

доцент каф. «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М. Б. Генералова»,  
к.т.н., доцент



/Д.В.Зубов/

**Согласовано:**

И. о. зав. кафедрой «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М. Б. Генералова»,

к.т.н., доцент



/А. С. Соколов/

## **1. Цели освоения дисциплины**

Основной целью дисциплины « Математическое моделирование химико-технологических процессов» является получение магистрами теоретических основ и практических знаний в области разработки и применения математических моделей химико-технологических процессов и аппаратов , способности составлять математические модели типовых профессиональных задач, использовать методы проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров и применять методы математического моделирования для описания технологических процессов

### **Основными задачами дисциплины является**

- изучение методов составления полной системы математических уравнений, описывающих предмет моделирования;
- формирование умения реализовать математические модели химико-технологических процессов;
- формирование навыков проведения компьютерных исследований моделируемых объектов.
- изучение системы уравнений, описывающие, или моделирующие работу отдельных аппаратов и процессов;
- изучение методов численного или аналитического решения уравнений и систем уравнений, описывающих моделируемые объекты, а также математические и физические ограничения, соответствующие данной модели/

В ходе лекционных, семинарских и практических занятий полученные теоретические знания углубляются и закрепляются на конкретных практических примерах.

Полученные знания должны обеспечить будущему специалисту возможность успешной работы по специальности.

Задачей дисциплины «Математическое моделирование химико-технологических процессов» является подготовка магистра к практической деятельности по специальности 15.04.02 «Технологические машины и оборудование».

## **2. Место дисциплины в структуре ООП магистра**

Дисциплина «Математическое моделирование химико- технологических процессов» относится к числу учебных дисциплин обязательной части блока Б1 основной образовательной программы магистра. «Математическое

моделирование химико- технологических процессов» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ОП:

- Прикладные программы расчетов технологического оборудования
- Использование прикладных программ при проектировании нового оборудования.

**2.1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	<p><b>УК-1.1. Знать:</b> знает методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации.</p> <p><b>УК-1.2. Уметь:</b> умеет анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними; разрабатывать и аргументировать стратегию решения проблемной ситуации на основе системного подхода.</p> <p><b>УК-1.3. Владеть:</b> владеет методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий.</p>
ОПК-5	Способен разрабатывать аналитические и численные	<b>ОПК-5.1. Знать:</b> знает способы разработки аналитических и численных методы при

	методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов <b>ОПК-5.2. Уметь:</b> умеет разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов <b>ОПК-5.3. Владеть:</b> владеет методами разработки аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
<b>ПК-1</b>	Сбор, изучение и анализ научно-технической информации; разработка планов и методик проведения научных исследований	<b>ПК-1.1. Владеть:</b> владеет методами разработки планов и методических программ проведения исследований по определенной тематике; организацией сбора и изучения научно-технической информации по теме <b>ПК-1.2. Знать:</b> знает методы проведения исследований и разработок, актуальную нормативную документацию <b>ПК-1.3. Уметь:</b> умеет применять актуальную нормативную документацию в соответствующей области знаний

### **Структура и содержание дисциплины.**

Общая трудоемкость дисциплины «Математическое моделирование химико- технологических процессов» составляет **4** зачетных единицы, т.е. 144 академических часа (из ни 90 часов - самостоятельная работа студентов), которые включают аудиторную работу (лекции, практические и семинарские занятия). Форма контроля – зачет.

Структура и содержание дисциплины по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

#### **4. Содержание разделов дисциплины.**

**4.1 Классификация основных процессов и аппаратов химической технологии. Основные принципы составления математических описаний, анализа и расчета типовых процессов и аппаратов.**

Основные задачи статики, кинетики и динамики химико-технологических процессов.

Дифференциальные уравнения, описывающие поля скоростей, температур и концентраций. Аналогия между ними. Методы анализа этих уравнений. Условия аналитического решения дифференциальных уравнений (условия однозначности). Основные теоретические и экспериментальные методы исследований типовых химико-технологических процессов и аппаратов. Место и роль теоретических и экспериментальных исследований в задачах химической технологии. Исследование механизмов процессов на микро-и макроуровнях.

#### **4.2 Моделирование химико-технологических процессов.**

Физическое моделирование. Условия подобия, константы и инварианты подобия. Основы теории обобщенных переменных (теории подобия) и её практическое применение: (теоремы теории подобия Ньютона, Бэкингема и Кирпичёва-Гухмана).

- Основы теории анализа размерностей
- Математическое моделирование. Основные этапы работ по созданию математических моделей.
- Сравнительная характеристика физического и математического моделирования при решении химико-технологических задач: анализ и выявление механизмов протекания процесс. Гидродинамическая структура потоков в аппаратах. Общее представление о структуре потоков и её влияние на характеристики протекающих химико-технологических процессов.

#### **4.3. Гидромеханические процессы.**

Классификация сил, действующих на жидкость. Идеальная и реальная жидкость. Стационарный и нестационарный потоки. Закон внутреннего трения Ньютона. Ньютоновские и неньютоновские жидкости, общая характеристика реологических свойств неньютоновских жидкостей. Вязкость жидкости и её физическая сущность, как мера оценки переноса количества движения. Основные характеристики движения жидкостей: скорость потока, объёмный и массовый расходы. Гидродинамические режимы течения жидкостей в условиях внутренней и внешней задач гидродинамики  
Основные уравнения гидродинамики: дифференциальные уравнения неразрывности потока и движения жидкости Навье-Стокса и Эйлера, их

практическое применение в вопросах гидродинамики. Особенности течения вихревой жидкости. Представления о турбулентных потоках жидкостей.. Элементы теории гидродинамического подобия. Гидродинамическое подобие. Подобное преобразование уравнений движения жидкости Навье-Стокса. Основные и производные критерии гидродинамического подобия, модифицированные критерии подобия. Определяемые и определяющие критерии. Основные типы критериальных уравнений для решения основных задач гидродинамики. Приближённое моделирование в гидродинамике.

#### **4.4. Теплообменные процессы и аппараты**

Тепловые процессы в химической технологии, Классификация способов переноса теплоты. Стационарный и нестационарный процессы. Передача теплоты теплопроводностью. Температурное поле, его основные параметры и характеристики. Уравнение теплопроводности Фурье и дифференциальное уравнение теплопроводности. Решения дифференциального уравнения теплопроводности для плоской и цилиндрических стенок в условиях стационарности процесса без внутренних источников теплоты. Уравнение теплопроводности при наличии внутренних источников тепла Конвективный теплоперенос. Теплообмен в условиях естественной и вынужденной конвекции. Коэффициент теплоотдачи и движущая сила. Представления о механизме процесса конвективного теплообмена в условиях ламинарного и турбулентного потоков. Тепловой пограничный слой. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Тепловое подобие и основные критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для расчета конвективного теплообмена. Теплоотдачу в условиях естественной и вынужденной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителей. Основная цель и принципы расчета кинетики процесса. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния теплоносителей (конденсация паров и кипение жидкостей). Основы расчета кинетики процесса. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи при постоянных и переменных температурах теплоносителей. Принципы расчета коэффициентов теплопередачи. Движущая сила процессов теплопередачи.

#### **4.5. Массообменные процессы.**

Массообменные процессы. Основное уравнение массопередачи. Движущая сила массообменных процессов. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика). Дифференциальное уравнение

молекулярной диффузии (второй закон Фика). Закон массоотдачи (закон Шукарева). Дифференциальное уравнение массоотдачи (конвективной диффузии).

Применение теории подобия к описанию массообменных процессов.

Критерии подобия. Выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи. Модифицированные уравнения массопередачи. Критериальное уравнение массопередачи.

## **5.Образовательные технологии.**

Методика преподавания дисциплины «Математическое моделирование химико-технологических процессов» заключается реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;

– организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины в целом по дисциплине составляет 50% аудиторных занятий.

## **6.Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Математическое моделирование химико- технологических процессов» и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы магистрантов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- подготовка к выполнению расчетных заданий и их защита,
- контроль знаний при помощи тестов.

Образцы тестовых заданий, тематика расчетных работ и варианты заданий, варианты контрольных вопросов для проведения зачета, варианты экзаменационных билетов, приведены в приложении 2.



## 6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).

### 6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
<b>УК-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
<b>ОПК-5</b>	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
<b>ПК-1</b>	Сбор, изучение и анализ научно-технической информации; разработка планов и методик проведения научных исследований

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

### 6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания.

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

<b>УК-1</b> - Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий	
Показатель	Критерии оценивания

	2	3	4	5
<b>знать:</b> методы системного и критического анализа; методика разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы системного и критического анализа; методика разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы системного и критического анализа; методика разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации. Допускает значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы системного и критического анализа; методика разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при ответах на вопросы.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы системного и критического анализа; методика разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации, свободно оперирует приобретенными знаниями.
<b>уметь:</b> анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними; разрабатывать и аргументировать стратегию решения проблемной ситуации на основе системного	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет: анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними; разрабатывать и аргументировать стратегию решения	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними; разрабатывать и аргументировать стратегию решения проблемной ситуации на основе системного подхода. Допускают-	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними; разрабатывать и аргументировать стратегию решения пробле-	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними; разрабатывать и аргументировать стра-

подхода	проблемной ситуации на основе системного подхода	ся значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	мною ситуации на основе системно-го подхода, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	ТЕГИЮ решения проблемной ситуации на основе системного подхода. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
<b>владеть:</b> методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий	Обучающийся владеет методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
<b>ОПК-5</b> - Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов				
<b>знать:</b> способы	Обучающийся демонстрирует	Обучающийся демонстрирует неполное	Обучающийся демонстрирует	Обучающийся демонстрирует

<p>разработки аналитических и численных методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов</p>	<p>полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: способов разработки аналитических и численных методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов</p>	<p>соответствие следующим знаниям: способов разработки аналитических и численных методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов. Допускает значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>частичное соответствие следующим знаниям: способы разработки аналитических и численных методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при ответах на вопросы.</p>	<p>полное соответствие следующим знаниям: способы разработки аналитических и численных методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, свободно оперирует приобретенными знаниями.</p>
<p><b>уметь:</b> разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов</p>	<p>Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет: разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующим умениям: разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим умениям: разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандарт-</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующим умениям: разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.</p>

		их переносе на новые ситуации.	тные ситуации.	
<b>владеть:</b> методами разработки аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени методами разработки аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	Обучающийся владеет методами разработки аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет методами разработки аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методами разработки аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
<b>ПК-1</b> - Сбор, изучение и анализ научно-технической информации; разработка планов и методик проведения научных исследований				
<b>Знать:</b> методы проведения исследований и разработок, актуальную нормативную документацию	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное знание методов проведения исследований и разработок, актуальную нормативную документацию	Обучающийся демонстрирует неполное знание методов проведения исследований и разработок, актуальную нормативную документацию. Допускаются значительные ошибки, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное знание методов проведения исследований и разработок, актуальную нормативную документацию. Допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения	Обучающийся демонстрирует полное соответствие знания методов проведения исследований и разработок, актуальную нормативную документацию. Свободно оперирует приобретенными знаниями.

<p><b>Уметь:</b> применять актуальную нормативную документацию в соответствующей области знаний</p>	<p>Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет применять актуальную нормативную документацию в соответствующей области знаний</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие требованиям применять актуальную нормативную документацию в соответствующей области знаний</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие требованиям применять актуальную нормативную документацию в соответствующей области знаний. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие умениям применять актуальную нормативную документацию в соответствующей области знаний. Свободно оперирует приобретенными умениями.</p>
<p><b>Владеть:</b> методами разработки планов и методических программ проведения исследований по определенной тематике; организацией сбора и изучения научно-технической информации по теме</p>	<p>Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами разработки планов и методических программ проведения исследований по определенной тематике; организацией сбора и изучения научно-технической информации по теме</p>	<p>Обучающийся частично владеет методами разработки планов и методических программ проведения исследований по определенной тематике; организацией сбора и изучения научно-технической информации по теме, но испытывает значительные затруднения при переносе полученных знаний на новые объекты</p>	<p>Обучающийся частично владеет методами разработки планов и методических программ проведения исследований по определенной тематике; организацией сбора и изучения научно-технической информации по теме, но имеются отдельные неточности при переходе к новым объектам</p>	<p>Обучающийся в полном объеме владеет методами разработки планов и методических программ проведения исследований по определенной тематике; организацией сбора и изучения научно-технической информации по теме</p>

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описания.

**Форма промежуточной аттестации: зачет.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме тестирования проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим

занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Математическое моделирование химико-технологических процессов» (выполнили все расчетные работы, связанные с оценкой вероятности безотказной работы технических систем на разных этапах проектирования и эксплуатации, написали рефераты, прошли тестирование.)

<b>Шкала оценивания</b>	<b>Описание</b>
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

**Фонды оценочных средств представлены в приложении 2 к рабочей программе.**

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **А) основная литература:**

1. Д.А.Баранов, А.В.Вязьмин, А.А.Гухман и др.; Под ред. А.М.Кутепова., Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: В 5 т. Т.1. Основы теории процессов химической технологии/– М.: Логос, 2000. – 480с.
2. Д.А.Баранов, В.Н.Блиничев, А.В.Вязьмин и др.; Под ред. А.М.Кутепова. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: В 5 т. Механические и гидромеханические процессы– М.: Логос, 2001. – 600 с.

### **Б) дополнительная литература:**

- 1.Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств  
Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк. , 1991. - 400 с.: ил.
  - 2.Полянин А.Д., Вязьмин А.В., Журов А.И., Казенин Д.А., Справочник по точным решениям уравнений тепло- и массопереноса. – М.: Наука, 1998. – 368с
- 

### **В) программное обеспечение и интернет-ресурсы:**

Программное обеспечение не предусмотрено.

#### **1. Материально-техническое обеспечение дисциплины.**

Проведение лекций осуществляется в общеуниверситетских аудиториях, где по возможности можно предусмотреть демонстрацию фильмов, слайдов или использовать раздаточные материалы. Лекции с применением мультимедийных средств проводятся в аудитории 4410 или 4408. Практические и семинарские занятия проводятся в лабораториях, в аудиториях 4408 или 4407 с демонстрацией работы лабораторных и научно-исследовательских установок и вспомогательного оборудования, что необходимо для более наглядного изучения дисциплины.

#### **1. Методические рекомендации для самостоятельной работы магистрантов**



Самостоятельная работа является одним из видов получения образования обучающимися и направлена на:

- изучение теоретического материала, подготовку к лекционным и семинарским (практическим) занятиям
- выполнение контрольных заданий
- подготовка к тестированию
- написание и защита реферата по предложенной теме.

Самостоятельная работа магистрантов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником.

Магистрант должен помнить, что проводить самостоятельные занятия следует регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Не следует откладывать работу также из-за нерабочего настроения или отсутствия вдохновения. Настроение нужно создавать самому. Понимание необходимости выполнения работы, знание цели, осмысление перспективы благоприятно влияют на настроение.

Каждый магистрант должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Важно полнее учесть обстоятельства своей работы, уяснить, что является главным на данном этапе, какую последовательность работы выбрать, чтобы выполнить ее лучше и с наименьшими затратами времени и энергии.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Магистрант должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с книгой. Научиться работать с книгой – важнейшая задача магистранта. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с книгой складывается из умения подобрать

необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное, усвоить и применить на практике.

## **2. Методические рекомендации для преподавателя**

Основным требованием к преподаванию дисциплины «Математическое моделирование химико-технологических процессов» является творческий, проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекционная и практическая. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекции. В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): лекции, семинарские занятия, консультации и т.д. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения, раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям по курсу необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия, определить средства материально-технического обеспечения лекционного занятия и порядок их использования в ходе чтения лекции. Уточнить план проведения практического занятия по теме лекции.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая

логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических занятий обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Изучение дисциплины завершается зачетом или экзаменом.

Преподаватель, принимающий зачет, лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки магистров 15.04.02 – «Технологические машины и оборудование».

*МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*

*ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ*

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 15.04.02 «Технологические машины и  
оборудование»

ОП (профиль): «Инжиниринг технологических производств»

*Форма обучения: очная*

*Вид профессиональной деятельности: (В соответствии с ФГОС ВО)*

*Кафедра: «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств»*

***ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ***

***ПО ДИСЦИПЛИНЕ***

***«Математическое моделирование химико-  
технологических процессов»***

Квалификация (степень) выпускника

**Магистр**

Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств

2. Описание оценочных средств:

*Вопросы для самостоятельной подготовки*

*Темы рефератов*

*Темы практических и семинарских занятий*

***Составитель:***

***Жихарев А.С***

*Москва, 2022 г*

## ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Дисциплина «Математическое моделирование химико-технологических процессов»					
ФГОС ВО 15.04.02 – «Технологические машины и оборудование»					
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции					
Компетенции		Перечень компонентов	Технология формирования компетенции	Форма оценочного средства	Степени уровней освоения компетенции
Индекс	Формулировка				
<b>УК-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий	<p><b>УК-1.1. Знать:</b> знает методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации.</p> <p><b>УК-1.2. Уметь:</b> умеет анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними; разрабатывать и аргументировать стратегию решения проблемной ситуации на основе системного подхода.</p> <p><b>УК-1.3. Владеть:</b> владеет методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов</p>	лекции, самостоятельная работа, семинарские занятия	ДИ, Р, К, Т, УО	<p><b>Базовый уровень:</b> воспроизводство полученных знаний в ходе текущего контроля</p> <p><b>Повышенный уровень:</b> практическое применение полученных знаний в процессе подготовки к семинарам, к выступлению с докладом, к лабораторным работам</p>

		ее достижения, разработки стратегий действий.			
<b>ОПК-5</b>	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	<p><b>ОПК-5.1. Знать:</b> знает способы разработки аналитических и численных методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов</p> <p><b>ОПК-5.2. Уметь:</b> умеет разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов</p> <p><b>ОПК-5.3. Владеть:</b> владеет методами разработки аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов</p>	Самостоятельная работа, лаборатор-ные работы	УО, КСД, ДИ	<p><b>Базовый уровень:</b> воспроизводство полученных знаний в ходе текущего контроля</p> <p><b>Повышенный уровень:</b> практическое применение полученных знаний в процессе подготовки к семинарам</p>
<b>ПК-1</b>	Сбор, изучение и анализ научно-технической информации; разработка планов и методик проведения научных исследований	<p><b>ПК-1.1. Владеть:</b> владеет методами разработки планов и методических программ проведения исследований по определенной тематике; организацией сбора и изучения научно-технической информации по теме</p> <p><b>ПК-1.2. Знать:</b> знает методы проведения исследований и разработок, актуальную нормативную документацию</p> <p><b>ПК-1.3. Уметь:</b> умеет применять актуальную нормативную документацию в соответствующей</p>	Самостоятельная работа, лаборатор-ные работы	УО, КСД, ДИ	<p><b>Базовый уровень:</b> воспроизводство полученных знаний в ходе текущего контроля</p> <p><b>Повышенный уровень:</b> практическое применение полученных знаний в процессе подготовки к семинарам</p>

		области знаний			
--	--	----------------	--	--	--



**Перечень оценочных средств по дисциплине  
«Математическое моделирование химико-технологических процессов»**

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Деловая и/или ролевая игра (ДИ)	Совместная деятельность группы обучающихся и педагогического работника под управлением педагогического работника с целью решения учебных и профессионально - ориентированных задач путем игрового моделирования реальной проблемной ситуации. Позволяет оценивать умение анализировать и решать типичные профессиональные задачи.	Тема (проблема), концепция, роли и ожидаемый результат по каждой игре
2	Кейс-задача (К-З)	Проблемное задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально- ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы.	Задания для решения кейс-задачи
3	Круглый стол, дискуссия, полемика, диспут, дебаты	Оценочные средства, позволяющие включить обучающихся в процесс обсуждения спорного вопроса, проблемы и оценить их умение аргументировать собственную точку зрения.	Перечень дискуссионных тем для проведения круглого стола, дискуссии, полемики, диспута, дебатов

4	Разноуровневые задачи и задания (РЗЗ)	<p>Различают задачи и задания:</p> <p>а) репродуктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение правильно использовать специальные термины и понятия, узнавание объектов изучения в рамках определенного раздела дисциплины;</p> <p>б) реконструктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей;</p> <p>в) творческого уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.</p>	Комплект разноуровневых задач и заданий
5	Расчетно-графическая работа (РГР)	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.	Комплект заданий для выполнения расчетно-графической работы
6	Реферат (Р)	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.	Темы рефератов
7	Устный опрос собеседование, (УО)	Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины

8	Тест (Т)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Фонд тестовых заданий
---	-------------	--	-----------------------

Приложение 3.

**Структура и содержание дисциплины**  
**«Математическое моделирование химико-технологических процессов»**  
**15.04.02 – «Технологические машины и оборудование» (магистр)**  
**Группа 214-561**  
**Форма обучения - очная**

n/n	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации		
				Л	П/С	Лаб	СР С	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реферат	К/р	Э	З	
1	Классификация основных процессов и аппаратов химической технологии. Основные принципы составления математических описаний, анализа и расчета типовых процессов и аппаратов. Основные задачи статики, кинетики и динамики химико-технологических процессов.	2	1-2	4	2		+	+								

2	<p>Моделирование химико-технологических процессов</p> <p>Физическое моделирование..</p> <p>Основы теории обобщенных переменных (теории подобия) и её практическое применение: (теоремы теории подобия).</p>	2	3-4	4	2		+	+				+			
3	<p>Основы теории анализа размерностей. Математическое моделирование. Основные этапы работ по созданию математических моделей.</p>	2	5-6	4	2		+	+				+			
	<p>Гидромеханические процессы.</p> <p>Основные уравнения гидродинамики: дифференциальные уравнения неразрывности потока и движения жидкости.</p> <p>Элементы теории гидродинамического подобия.</p> <p>Гидродинамическое подобие.</p> <p>Подобное преобразование уравнений движения жидкости Навье-Стокса.</p> <p>Основные и производные</p>	2	7-9	6	3		+	+							

4	критерии гидродинамического подобия, модифицированные критерии подобия. Приближённое моделирование в гидродинамике														
5	Теплообменные процессы и аппараты, дифференциальное уравнение конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Тепловое подобие и основные критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для расчета конвективного теплообмена.	2	10-12	6	3										
6	Массообменные процессы. Основное уравнение массопередачи. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика). Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии (второй закон Фика). Закон массоотдачи (закон Шукарева). Дифференциальное уравнение массоотдачи (конвективной диффузии).	2	13-15	6	3			+	+						
7	Применение теории подобия описанию массообменных процессов. Критерии подобия. Выражение коэффициента массопередачи через		16-18	6	3			+	+						

коэффициенты массоотдачи. Модифицированные уравнения массопередачи. Критериальное уравнение массопередачи.	2														
<b>Форма аттестации</b>															<b>Зач.</b>
<b>Всего часов по дисциплине</b>			<b>36</b>	<b>18</b>		<b>90</b>									

**ВОПРОСЫ ПО КУРСУ**  
**«Математическое моделирование химико-  
технологических процессов»**

1. Классификация основных процессов и аппаратов химической технологии. Основные принципы составления математических описаний, анализа и расчета типовых процессов и аппаратов.
2. Дифференциальные уравнения, описывающие поля скоростей, температур и концентраций. Аналогия между ними. Методы анализа этих уравнений. Условия аналитического решения дифференциальных уравнений (условия однозначности).
3. Основные теоретические и экспериментальные методы исследований типовых химико-технологических процессов и аппаратов.
4. Моделирование химико-технологических процессов. Физическое моделирование. Условия подобия, константы и инварианты подобия. Основы теории обобщенных переменных (теории подобия) и её практическое применение
5. Основы теории анализа размерностей
6. Математическое моделирование. Основные этапы работ по созданию математических моделей.
7. Сравнительная характеристика физического и математического моделирования при решении химико-технологических задач: анализ и выявление механизмов протекания процесс.
8. Гидродинамическая структура потоков в аппаратах. Общее представление о структуре потоков и её влияние на характеристики протекающих химико-технологических процессов.
9. Гидромеханические процессы. Основные уравнения гидродинамики: дифференциальные уравнения неразрывности потока и движения жидкости Навье-Стокса и Эйлера, их практическое применение в вопросах гидродинамики.
10. Элементы теории гидродинамического подобия. Гидродинамическое подобие. Подобное преобразование уравнений движения жидкости Навье-

Стокса. Основные и производные критерии гидродинамического подобия, модифицированные критерии подобия.

11. Основные типы критериальных уравнений для решения основных задач гидродинамики. Приближённое моделирование в гидродинамике.

12 Тепловые процессы в химической технологии, их роль и значение в проведении химико-технологических процессов. Классификация способов переноса теплоты. Стационарный и нестационарный процессы. Передача теплоты теплопроводностью. Температурное поле, его основные параметры и характеристики. Уравнение теплопроводности Фурье и дифференциальное уравнение теплопроводности. Решения дифференциального уравнения теплопроводности для плоской и цилиндрических стенок в условиях стационарности процесса без внутренних источников теплоты. Уравнение теплопроводности при наличии внутренних источников тепла.

13 Конвективный теплоперенос. Теплообмен в условиях естественной и вынужденной конвекции. Уравнение теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи и движущая сила. Представления о механизме процесса конвективного теплообмена в условиях ламинарного и турбулентного потоков. Тепловой пограничный слой. Температурное поле в условиях конвекции.

14 Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Тепловое подобие и основные критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для расчета конвективного теплообмена. Теплоотдача в условиях естественной и вынужденной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителей. Основная цель и принципы расчета кинетики процесса.

15. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния теплоносителей (конденсация паров и кипение жидкостей). Основы расчета кинетики процесса. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи при постоянных и переменных температурах теплоносителей. Принципы расчета коэффициентов теплопередачи. Движущая сила процессов теплопередачи.

16. Массообменные процессы. Основное уравнение массопередачи. Движущая сила массо-обменных процессов. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика). Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии (второй закон Фика). Закон массоотдачи (закон Шукарева).

17. Дифференциальное уравнение массоотдачи (конвективной диффузии).



18. Применение теории подобия к описанию массообменных процессов. Критерии подобия. Выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи.

19. Модифицированные уравнения массопередачи. Критериальное уравнение массопередачи.

### **Темы рефератов по дисциплине «Математическое моделирование химик- технологических процессов»**

1. Классификация основных процессов и аппаратов химической технологии. Основные принципы составления математических описаний, анализа и расчета типовых процессов и аппаратов.

2. Дифференциальные уравнения, описывающие поля скоростей, температур и концентраций. Аналогия между ними. Методы анализа этих уравнений. Условия аналитического решения дифференциальных уравнений (условия однозначности).

3. Основные теоретические и экспериментальные методы исследований типовых химико-технологических процессов и аппаратов.

4. Моделирование химико-технологических процессов. Физическое моделирование. Условия подобия, константы и инварианты подобия. Основы теории обобщенных переменных (теории подобия) и её практическое применение

5. Основы теории анализа размерностей

6. Математическое моделирование. Основные этапы работ по созданию математических моделей.

7. Сравнительная характеристика физического и математического моделирования при решении химико-технологических задач: анализ и выявление механизмов протекания процесс.

8. Гидродинамическая структура потоков в аппаратах. Общее представление о структуре потоков и её влияние на характеристики протекающих химико-технологических процессов.

9. Гидромеханические процессы. Основные уравнения гидродинамики: дифференциальные уравнения неразрывности потока и движения жидкости

Навье-Стокса и Эйлера, их практическое применение в вопросах гидродинамики.

10. Элементы теории гидродинамического подобия. Гидродинамическое подобие. Подобное преобразование уравнений движения жидкости Навье-Стокса. Основные и производные критерии гидродинамического подобия, модифицированные критерии подобия.

11. Основные типы критериальных уравнений для решения основных задач гидродинамики. Приближённое моделирование в гидродинамике.

12. Тепловые процессы в химической технологии, их роль и значение в проведении химико-технологических процессов. Классификация способов переноса теплоты. Стационарный и нестационарный процессы. Передача теплоты теплопроводностью. Температурное поле, его основные параметры и характеристики. Уравнение теплопроводности Фурье и дифференциальное уравнение теплопроводности. Решения дифференциального уравнения теплопроводности для плоской и цилиндрических стенок в условиях стационарности процесса без внутренних источников теплоты. Уравнение теплопроводности при наличии внутренних источников тепла.

13. Конвективный теплоперенос. Теплообмен в условиях естественной и вынужденной конвекции. Уравнение теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи и движущая сила. Представления о механизме процесса конвективного теплообмена в условиях ламинарного и турбулентного потоков. Тепловой пограничный слой. Температурное поле в условиях конвекции.

14. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Тепловое подобие и основные критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для расчета конвективного теплообмена. Теплоотдача в условиях естественной и вынужденной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителей. Основная цель и принципы расчета кинетики процесса.

15. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния теплоносителей (конденсация паров и кипение жидкостей). Основы расчета кинетики процесса. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи при постоянных и переменных температурах теплоносителей. Принципы расчета коэффициентов теплопередачи. Движущая сила процессов теплопередачи.

16. Массообменные процессы. Основное уравнение массопередачи. Движущая сила массо-обменных процессов. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика). Дифференциальное уравнение

молекулярной диффузии (второй закон Фика). Закон массоотдачи (закон Шукарева).

**Темы семинарских и практических занятий  
по дисциплине  
«Математическое моделирование химико-  
технологических процессов»**

1. Основные принципы составления математических описаний, анализа и расчета типовых процессов и аппаратов. Дифференциальные уравнения, описывающие поля скоростей, температур и концентраций. Аналогия между ними. Методы анализа этих уравнений. Условия аналитического решения дифференциальных уравнений (условия однозначности).

2. Основные теоретические и экспериментальные методы исследований типовых химико-технологических процессов и аппаратов. Моделирование химико-технологических процессов. Физическое моделирование. Условия подобия, константы и инварианты подобия. Основы теории обобщенных переменных (теории подобия) и её практическое применение

3. Основы теории анализа размерностей Математическое моделирование. Основные этапы работ по созданию математических моделей. Сравнительная характеристика физического и математического моделирования при решении химико-технологических задач: анализ и выявление механизмов протекания процесса.

4. Гидромеханические процессы. Основные уравнения гидродинамики: дифференциальные уравнения неразрывности потока и движения жидкости Навье-Стокса и Эйлера, их практическое применение в вопросах гидродинамики. Элементы теории гидродинамического подобия. Гидродинамическое подобие. Подобное преобразование уравнений движения жидкости Навье-Стокса. Основные и производные критерии гидродинамического подобия, модифицированные критерии подобия.

5. Теплообменные процессы и аппараты Уравнение теплопроводности при наличии внутренних источников тепла. Конвективный теплоперенос. Теплообмен в условиях естественной и вынужденной конвекции. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Тепловое подобие и основные критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для расчета конвективного теплообмена. Теплоотдача в условиях естественной и вынужденной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителей

6. Массообменные процессы. Основное уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов. Уравнение рабочей линии массообменных процессов. Движущая сила массообменных процессов. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика). Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии (второй закон Фика). Закон массоотдачи (закон Шукарева).

7. Дифференциальное уравнение массоотдачи (конвективной диффузии). Применение теории подобия к описанию массообменных процессов. Критерии подобия. Выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи. Модифицированные уравнения массопередачи. Критериальное уравнение массопередачи.