Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 18.09.2025 13:31:49
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ

Декан

_____ / А.С. Соколов /

« 27 » февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Моделирование технологических процессов»

Направление подготовки
15.04.02. Технологические машины и оборудование

Профиль
Промышленный инжиниринг

Квалификация
магистр
Форма обучения
очная

Москва, 2025 г.

Разработчик(и):

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

/Д.В.Зубов /

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б.Генералова», к.т.н.,

/А.С.Кирсанов/

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3. Структура и содержание дисциплины 5
   - 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 5
   - 3.2. Тематический план изучения дисциплины 6
   - 3.3. Содержание дисциплины 6
   - 3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 8
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 9
   - 4.1. Нормативные документы и ГОСТы 9
   - 4.2. Основная литература 9
   - 4.3. Дополнительная литература 10
   - 4.4. Электронные образовательные ресурсы 10
   - 4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 10
   - 4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 10
5. Материально-техническое обеспечение 10
6. Методические рекомендации 10
   - 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 10
   - 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 12
7. Фонд оценочных средств 14
   - 7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 14
   - 7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения 14
   - 7.3. Оценочные средства 16

Приложение №1 19

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью дисциплины «Моделирование 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.

Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих **задач**:

- изучение методов составления полной системы математических уравнений,
- описывающих предмет моделирования;
- формирование умения реализовать математические модели хмико-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.

Обучение по дисциплине «Моделирование технологических процессов» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-5. Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	ИОПК-5.1 Ставит задачи математического моделирования машин и аппаратов, производственных систем и технологических процессов; ИОПК-5.3 Применяет методы аналитического моделирования управленческих и технологических процессов; ИОПК-5.5 Учувствует в создании цифровых моделей технических средств и производственных систем.

ОПК-13. Способен разрабатывать и применять современные цифровые программы проектирования технологических машин и оборудования, алгоритмы моделирования их работы и испытания их работоспособности.	ИОПК-13.1 Анализирует цифровые программы и алгоритмы для создания и оценки работоспособности технологических машин и оборудования; ИОПК-13.2 Применяет системы автоматизированного проектирования для решения профессиональных задач.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Моделирование технологических процессов» относится к числу учебных дисциплин обязательной части Блока 1 основной образовательной программы магистратуры.

«Моделирование технологических процессов» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

– Конструирование технологического оборудования.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

(по формам обучения)

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			2	
1	**Аудиторные занятия**	**36**	36	
	В том числе:			
1	Лекции	18	18	
2	Семинарские/практические занятия	18	18	
3	Лабораторные занятия			
2	**Самостоятельная работа**	**72**	72	
	В том числе:			
1	С использованием дистанционных образовательных технологий	72	72	
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет	Экзамен	Экзамен	
	Итого	**108**	108	

3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1.	Классификация основных процессов и аппаратов химической технологии. Основные принципы составления математических описаний, анализа и расчета типовых процессов и аппаратов	**20**	3	3			14
2.	Моделирование химико-технологических процессов	21	3	4			14
3.	Гидромеханические процессы.	22	4	4			14
4.	Теплообменные процессы и аппараты	22	3	4			15
5.	Масообменные процессы.	**23**	5	3			15
	Итого	**108**	**18**	**18**			**72**

3.3 Содержание дисциплины

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.

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.

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. 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. Теплоотдачав 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.

5. Масообменные процессы.

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

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Практическое занятие 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).

Практическое занятие 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

Практическое занятие 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.

Практическое занятие 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.

Практическое занятие 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

Практическое занятие 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 масоотдачи (закон Щукарева).

Практическое занятие 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

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

4.2 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.

4.3 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

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Не предусмотрено

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

- Microsoft Windows;
- Программное обеспечение Microsoft Office;
- Комплексная Система Антивирусной Защиты Kaspersky

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. https://elibrary.ru/ - Научная электронная библиотека
2. Портал Единое окно доступа к образовательным ресурсам http://window.edu.ru/
3. Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов. Электронная библиотечная система (ЭБС) https://urait.ru/

5. Материально-техническое обеспечение

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.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Основным требованием к преподаванию дисциплины «Моделирование 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.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Студенты, обучающиеся по дисциплине «Моделирование технологических процессов» в основном и специальном

отделениях и освоившие учебную программу, выполняют зачетные требования по физической культуре с соответствующей записью «удовлетворительно/хорошо/отлично» в экзаменационной ведомости.

Критерием успешности освоения учебного материала является экспертная оценка преподавателя, учитывающая регулярность посещения обязательных учебных занятий, и выполнение установленных расчетные работы, связанные с оценкой вероятности безотказной работы технических систем на разных этапах проектирования и эксплуатации, написали рефераты.

Вид работы	Форма отчетности и текущего контроля
Практические работы	Оформленные отчеты (журнал) практических работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины с отметкой преподавателя «удовлетворительно/хорошо/отлично», если выполнены и оформлены все работы.
Реферат	Реферат 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.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1 Шкала оценивания практических работ

Форма промежуточной аттестации: <u>экзамен.</u>

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена 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
«отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

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

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенными 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.
Хорошо	Выполнены все **обязательные условия** подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные программой дисциплины. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенными в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками. При этом могутбыть допущены ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации, исправленные при повторном ответе.
Удовлетворительно	Выполнены все **обязательные условия** подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные программой дисциплины. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенными 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.

Неудовлетворительно	Не выполнены **обязательные условия** подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные программой дисциплины, ИЛИ студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенными 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.

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

7.3.1.1 Темы практических работ по дисциплине «Конструирование технологического оборудования»

Тематика практических работ изложена в пункте 3.4.

7.3.2. Промежуточная аттестация

7.3.3. Вопросы к зачету по дисциплине

«Моделирование 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-

31

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.

13Конвективныйтеплоперенос. 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. Масообменные процессы. Основное уравнение массопередачи. Движущая сила массообменных процессов. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика). Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии (второй закон Фика). Закон масоотдачи (закон Щукарева).

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

Приложение №1

Темы рефератов
по дисциплине «Моделирование 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

10. 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. Масообменные процессы. Основное уравнение массопередачи. Движущая сила массообменных процессов. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика). Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии (второй закон Фика). Закон масоотдачи (закон Щукарева).