

УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.02** Моделирование технологических и природных систем

Учебный план: ФГОС3++m180402-12\_22-12.plx

Кафедра: 17 Процессов и аппаратов химической технологии

Направление подготовки:  
 (специальность) 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической  
 технологии, нефтехимии и биотехнологии

Профиль подготовки:  
 (специализация) Охрана окружающей среды и рациональное использование  
 природных ресурсов

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
1	УП	17	34	56,75	0,25	3	Зачет, Курсовая работа
	РПД	17	34	56,75	0,25	3	
Итого	УП	17	34	56,75	0,25	3	
	РПД	17	34	56,75	0,25	3	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 07.08.2020 г. № 909

Составитель (и):

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой

Никифоров А.О.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой процессов и аппаратов химической технологии

Никифоров А.О.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Шанова О.А.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** - ознакомления студентов с основными методами комплексного исследования технологических и природных систем и комплексов с позиций математического моделирования и системного анализа;

- соединения ранее полученных фундаментальных знаний основных законов физики, химической кинетики, гидромеханики и тепломассопереноса с методами проведения исследований, последующей обработки и анализа их результатов;

- формирования навыков самостоятельного планирования и проведения экспериментальных исследований, составления математических моделей различных систем.

### 1.2 Задачи дисциплины:

-рассмотреть применение знаний физико-химической сущности процессов и методологии математического моделирования при проведении научных исследований;

-раскрыть принципы расчетов химико-технологических процессов с использованием математических моделей, моделирующих систем и современных прикладных программ;

-продемонстрировать особенности проведения теоретических и экспериментальных исследований с использованием современных компьютерных технологий.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Дополнительные главы математики

Современные проблемы в области охраны окружающей среды

Экономика и управление химическими, нефтехимическими и биотехнологическими производствами

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПК-3: Способен к проведению экспериментальных работ по освоению новых технологических процессов, средств технологического оснащения, организационно-технических мероприятий**

**Знать:** методики расчетов оценки и моделирования воздействия на окружающую среду планируемой деятельности

**Уметь:** планировать по результатам оценки воздействия на окружающую среду мероприятия по снижению (предотвращению) негативного воздействия на окружающую среду

**Владеть:** экологическим анализом предлагаемых мероприятий при проектировании и реконструкции производств (в том числе с использованием специализированных программных продуктов)

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)			
Раздел 1. Построение эмпирических моделей	1					
Тема 1. Понятие о моделировании процессов. Основы планирования эксперимента. Сущность математического моделирования технологических природных систем. Формальные математические модели. Основные понятия и характеристики моделей. Значение методов планирования эксперимента в химической технике и технологии. Общие понятия и определения теории планирования эксперимента. Проверка воспроизводимости опытов. Вычисление погрешности эксперимента. Рандомизация. Экспериментально-статистические модели		1	4	6,75	ИЛ	О
Тема 2. Понятие о математическом описании процесса. Полный факторный эксперимент. Метод дробных реплик. Понятие о математическом описании процесса. Полный факторный эксперимент. Метод дробных реплик. Устранение влияния временного дрейфа. Анализ и исследование статистических моделей в области высокой кривизны поверхности отклика. Формальные математические модели множественной регрессии		4	6	10		
Раздел 2. Математические модели структуры потоков в химической аппаратуре						О

Тема 3. Модели идеального смешения и вытеснения. Продольное перемешивание. Диффузионная и ячеечная модель. Комбинированные модели. Математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии и промышленной экологии. Исследование структуры потоков. Основные характеристики распределения элементов потока по времени пребывания в аппарате. Влияние структуры потоков на степень завершенности физико-химических процессов. Модели идеального смешения и идеального вытеснения. Диффузионная модель. Ячеечная модель. Комбинированные модели. Волновая модель продольного перемешивания		2	6	10		
Тема 4. Моделирование кинетики сложных химических реакций. Диффузионный и кинетический режимы процессов, протекающих в двухфазных и многофазных химических реакторах		2	6	10		
Раздел 3. Математические модели химических технологических процессов						
Тема 5. Моделирование кинетики биохимических реакций изъятия загрязнений в аэротенках и биологических прудах. Моделирование кинетики биохимических реакций изъятия загрязнений в аэротенках и биологических прудах. Расчет требуемого объема биологических очистных сооружений		4	6	10		0
Тема 6. Детерминированные математические модели отстойников, тонкослойных нефтеловушек, фильтров. Детерминированные математические модели отстойников, тонкослойных нефтеловушек, фильтров		4	6	10		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		17	34	56,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет, Курсовая работа)		0,25				
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		51,25		56,75		

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта):** Цель: закрепить знания студентов в области моделирования технологических и природных систем.

**Задачи:** Обучение студентов методике расчета и проектирования комплекса химических аппаратов, составляющих установку для проведения процессов. Для определения конструкции и выбора по стандартам и нормам всех аппаратов, составляющих установку, необходимо, как правило, произвести расчет гидромеханических, тепловых и массообменных процессов в указанной аппаратуре с использованием компьютера.

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** 1. Использование методов математического моделирования при расчете и конструировании емкостного отстойника.

2. Разработка математической модели тонкослойного отстойника.

3. Использование методов математического моделирования при расчете и конструировании фильтра с неподвижным зернистым слоем.

4. Разработка математической модели теплообменника.

5. Использование методов математического моделирования при расчете и конструировании выпарного аппарата.

6. Разработка математической модели пневматической сушилки.

7. Использование методов математического моделирования при расчете и конструировании аппарата с мешалкой.

8. Разработка математической модели газлифтного реактора.

9. Математическое моделирование аэротенка идеального смешения.

10. Использование методов математического моделирования при расчете и конструировании инжекторов.

11. Разработка математической модели процесса пропитки пористого материала.

12. Разработка математической модели процесса гранулирования из расплава.

#### 4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):

Работа выполняется индивидуально, с использованием специализированного программного обеспечения

Результаты представляются в виде пояснительной записки, объемом 25 страниц, содержащего следующие обязательные элементы:

1. Введение.

2. Постановка задачи.

3. Алгоритм решения.

4. Решение.

5. Выводы.

6. Библиографический список.

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

#### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-3	1. Излагает методики расчетов оценки и моделирования воздействия на окружающую среду планируемой деятельности. 2. Демонстрирует умение планировать по результатам оценки воздействия на окружающую среду мероприятия по снижению (предотвращению) негативного воздействия на окружающую среду. 3. Использует экологический анализ предлагаемых мероприятий при проектировании и реконструкции производств (в том числе с использованием специализированных программных продуктов)	1. Вопросы устного собеседования. 2. Практико-ориентированные задания. 3. Курсовая работа.

#### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)		Полное и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствует о значительной самостоятельной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов работы соответствует требованиям содержание полностью соответствует заданию. Полученные результаты представлены на основании изучения и анализа исследуемого процесса. Даны исчерпывающие выводы и полные ответы на поставленные вопросы. Работа представлена к защите в требуемые сроки.
4 (хорошо)		Работа выполнена в соответствии с заданием. Имеются отдельные несущественные ошибки в работе или в ответах на поставленные при защите вопросы. Могут иметь место отступления от правил оформления работы или нарушены сроки предоставления работы к защите.

3 (удовлетворительно)		Задание выполнено полностью, но в работе есть существенные ошибки, присутствуют неточности в ответах, либо качество представления работы низкое, либо работа представлена с опозданием.
2 (неудовлетворительно)		Содержание работы не соответствует заданию. Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы. Отсутствует одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления работы. Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора.
Зачтено	Обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопросы, способен правильно применить основные методы и инструменты при решении практических задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.	
Не зачтено	Обучающийся не может изложить значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неточности в формулировках и доказательствах, нарушая в последовательности изложения программного материала; неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические задания	

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 1	
1	Дифференциальные уравнения модели взаимопроникающих континуумов
2	Детерминированное моделирование технологических и природных дисперсных систем.
3	Моделирование кинетики биохимических реакций изъятия загрязнений в аэротенках и биологических прудах. Расчет требуемого объема биологических очистных сооружений
4	Диффузионный и кинетический режимы процессов, протекающих в двухфазных и многофазных химических реакторах
5	Моделирование кинетики сложных химических реакций.
6	Волновая модель продольного перемешивания
7	Комбинированные модели структуры потоков
8	Ячеечная модель
9	Диффузионная модель.
10	Модели идеального смешения и идеального вытеснения.
11	Влияние структуры потоков на степень завершенности физико-химических процессов
12	Основные характеристики распределения элементов потока по времени пребывания в аппарате
13	Исследование структуры потоков.
14	Математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии и промышленной экологии.
15	Сущность математического моделирования технологических и природных систем
16	Математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии и промышленной экологии
17	Формальные математические модели множественной регрессии

18	Анализ и исследование статистических моделей в области высокой кривизны поверхности отклика
19	Устранение влияния временного дрейфа
20	Метод дробных реплик
21	Полный факторный эксперимент
22	Понятие о математическом описании процесса
23	Экспериментально-статистические модели
24	Рандомизация эксперимента
25	Вычисление погрешности эксперимента
26	Проверка воспроизводимости опытов
27	Общие понятия и определения теории планирования эксперимента
28	Значение методов планирования эксперимента в химической технике и технологии
29	Основные понятия и характеристики моделей
30	Формальные математические модели

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГОМОГЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

1. Составить, в соответствии с заданной схемой реакций, на основании закона действующих масс кинетическую модель.
2. Разработать алгоритм расчёта составленной кинетической модели с использованием численных методов Эйлера и Рунге-Кутты.
3. Разработать программу расчета кинетики с учетом температурной зависимости констант скорости гомогенной химической реакции.
4. Сделать выводы по работе.
5. Составить отчет.

Дано уравнение химической реакции:

Начальные концентрации, моль/л  $CA_0$ ;  $CE_0$ ;  $CD_0$

Значение констант скоростей при  $T = 580 \text{ K}$ :  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$

Значения энергии активации, Дж/моль:  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ В АППАРАТАХ

1. Ознакомиться с методикой моделирования гидродинамики насадочного абсорбера.
2. Ознакомиться со структурной схемой алгоритма исследования гидродинамики насадочного абсорбера.
3. Подготовить исходные данные.
4. Разработать программу и выполнить расчеты при различных значениях числа ячеек ( $N$ ).
5. Выбрать оптимальное число ячеек.
6. Сделать выводы по работе.

Даны концентрация абсорбируемого компонента  $C_0$ , % об., концентрация на выходе из абсорбера, % об., время, с.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1. Ознакомиться с методикой построения математической модели теплообменника.
2. Ознакомиться с методикой расчета статистических и динамических характеристик теплообменника.
3. Построить математическую модель теплообменного аппарата типа «труба в трубе».
4. Выбрать численный метод и разработать программу расчета.
5. Исследовать влияние температуры и расхода теплоносителя и хладагента, выбрать оптимальную длину теплообменного аппарата.
6. Провести анализ результатов расчета.

Даны: теплоноситель, начальная температура,  $^{\circ}\text{C}$ , объёмная скорость,  $\text{м}^3/\text{с}$ , плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , теплоёмкость,  $\text{Дж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ .



### 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

#### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

#### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  Письменная  Компьютерное тестирование  Иная

#### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Возможность пользоваться справочными таблицами, компьютером.  
Время на подготовку ответа на зачете 45 минут.  
Защита курсовой работы 20 минут.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Заварухин, С. Г.	Математическое моделирование химико-технологических процессов и аппаратов	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/91236.html">http://www.iprbookshop.ru/91236.html</a>
Клинов, А. В., Мухаметзянова, А. Г.	Математическое моделирование химико-технологических процессов	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2009	<a href="http://www.iprbookshop.ru/62483.html">http://www.iprbookshop.ru/62483.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров	Сборник кейсов по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» [Текст ] :учебно-практическое пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2018	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/2018_10_03_01.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/2018_10_03_01.pdf</a>
Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров	Моделирование технологических и природных систем. Выполнение курсовой работы: методические указания для магистров по направлению подготовки 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петербург. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. - Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД	2021	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/1637757575.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/1637757575.pdf</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>  
Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>  
Электронно-библиотечная система «Айбукс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibooks.ru/>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8  
MicrosoftOfficeProfessional 2013  
PTC Mathcad 15  
AutoCADDesign

#### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Лекционная аудитория с мультимедийным учебным комплексом.
2. Компьютерный класс с мультимедийным комплексом и выходом в Интернет.

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска