

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор, проректор
по УР

_____ А.Е. Рудин

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ.02.01 Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Учебный план: 2025-2026 18.03.02 ИПХиЭ ТиТРПиЗОС ОО 1-1-172.plx

Кафедра: **18** Инженерной химии и промышленной экологии

Направление подготовки:
(специальность) 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Профиль подготовки:
(специализация) Техника и технология ресурсосберегающих процессов и защита окружающей среды

Уровень образования: бакалавриат

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					
7	УП	16	32	57,75	2,25	3	Зачет, Курсовая работа
	РПД	16	32	57,75	2,25	3	
8	УП	18	36	63	27	4	Экзамен
	РПД	18	36	63	27	4	
Итого	УП	34	68	120,75	29,25	7	
	РПД	34	68	120,75	29,25	7	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, утверждённым приказом Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 923

Составитель (и):

кандидат технических наук, Заведующий кафедрой

Бусыгин Николай Юрьевич

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой инженерной химии и
промышленной экологии

Бусыгин Николай Юрьевич

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Бусыгин Николай Юрьевич

Методический отдел:

Макаренко С. В.

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: Сформировать компетенции обучающегося в области моделирования энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии в целях исследования, прогнозирования результатов функционирования, оптимизации, в том числе с позиций энерго- и ресурсосбережения.

1.2 Задачи дисциплины:

- ознакомить с основными понятиями математического моделирования процессов и систем энерго- и ресурсосбережения;
- рассмотреть типовые методы построения эмпирических и физико-химических моделей и их качественного исследования;
- сформировать навыки постановки задач оптимизации параметров технологических процессов на основе построенных математических моделей;
- закрепить у студентов практические навыки по использованию численных методов компьютерного решения систем уравнений математического описания.

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Математика

Информационные технологии

Физическая химия

Процессы и аппараты химической технологии

Численные методы в химико-технологических расчетах

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПК-1: Способен определять технологические решения, способствующие минимизации и (или) предотвращению негативного воздействия на окружающую среду

Знать: место и роль математического моделирования как метода познания, средства установления взаимосвязи технологических параметров и оптимизации технологических процессов в условиях ограниченных временных и финансовых ресурсов.

Уметь: выбирать существенные факторы, влияющие на технологическую и экономическую эффективность рассматриваемых процессов, выбирать программные средства обработки данных.

Владеть: навыками использования доступных программных продуктов для реализации математических моделей.

ПК-3: Способен оценивать динамику негативного воздействия технологических процессов организации на окружающую среду

Знать: математический аппарат для построения эмпирических статистических моделей для установления качественной и количественной связи между параметрами изучаемых процессов.

Уметь: выбирать средства построения математических моделей статистическими методами.

Владеть: доступными программными продуктами для аппроксимации функций, проведения корреляционного и регрессионного анализа.

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. Математические модели в автоматизированном расчете технических систем ресурсосбережения и инженерной защиты окружающей среды	7					,3
Тема 1. Математическое моделирование как основной метод решения задач оптимизации и проектирования систем инженерной защиты окружающей среды. Современные ЭВМ – техническая основа моделирования. Экономическая и социальная значимость сохранения биосферы и роль методов математического моделирования и оптимизации в инженерном экологическом менеджменте. Общее понятие математической модели. Параметры модели. Классификация математических моделей. Принципы построения математических моделей. Реализация моделей, программные средства реализации моделей.		2		4,75		
Тема 2. Типовое информационное обеспечение математического моделирования процессов защиты окружающей среды. Специализированные базы и банки данных как основа автоматизированных технологических расчетов. Принципы построения банков данных по физико-химическим свойствам сложных по составу технологических потоков в различном агрегатном состоянии, по типовому оборудованию технологических установок, по типовой трубопроводной аппаратуре и пр. Специализированные СУБД. Практическое занятие. Изучение структуры и возможностей банка данных по физико-химическим свойствам веществ и смесей произвольного состава.		4	6	8	ИЛ	
Раздел 2. Эмпирико-статистические математические модели: получение и использование.						
Тема 3. Общие принципы построения эмпирико-статистических моделей. Моделируемый процесс как «черный ящик». Независимые переменные и функция отклика. Исходные данные для моделирования. Выбор формы модели. Подходы к оценке параметров уравнения модели. Метод наименьших квадратов (МНК) и его реализация. Практическое занятие. Выбор формы эмпирической модели и ее преобразование для использования МНК.		2	4	7		3

<p>Тема 4. Программные средства для построения эмпирико-статистических моделей.</p> <p>Использование электронных таблиц MS Excel для получения моделей путем построения линии тренда. Линейная регрессия общего вида в Mathcad.</p> <p>Особенности реализации и использования метода наименьших квадратов в общем виде применительно к линейной регрессии.</p> <p>Практическое занятие. Построение линейных по форме эмпирико-статистических моделей.</p>		2	6	8	ИЛ	
<p>Тема 5. Нелинейные эмпирико-статистические математические модели.</p> <p>Линеаризация моделей для использования типовых методов и программных средств.</p> <p>Альтернативные методы оценки коэффициентов нелинейных эмпирических моделей. Нелинейная регрессия в Mathcad.</p> <p>Практическое занятие. Оценка коэффициентов уравнения Аррениуса по экспериментальным данным различными методами.</p>		2	4	8	ИЛ	
<p>Раздел 3. Физико-химические математические модели.</p>						
<p>Тема 6. Общие принципы построения физико-химических (детерминированных) математических моделей.</p> <p>Описание гидродинамики, равновесия в системе, кинетики и условий теплопереноса как основные составляющие физико-химических моделей. Две постановки задачи расчета процессов и аппаратов по моделям.</p>				4		
<p>Тема 7. Моделирование гидравлических систем как пример построения физико-химических математических моделей.</p> <p>Оценка расхода жидкости через местное сопротивление. Моделирование и расчет короткого разветвленного трубопровода.</p> <p>Моделирование процессов истечения.</p> <p>Практическое занятие. Моделирование процессов перемещения жидкостей.</p> <p>Практическое занятие. Моделирование и расчет истечения жидкостей из системы емкостей.</p>		2	8	10	ИЛ	3
<p>Тема 8. Моделирование кинетики химического взаимодействия как пример построения физико-химических моделей.</p> <p>Материальный баланс простой химической реакции. Закон действующих масс.</p> <p>Построение кинетических уравнений для случаев простой и сложной химических реакций.</p> <p>Практическое занятие. Моделирование кинетики сложной химической реакции</p>		2	4	8	ИЛ	
<p>Итого в семестре (на курсе для ЗАО)</p>		16	32	57,75		
<p>Консультации и промежуточная аттестация (Зачет, Курсовая работа)</p>		2,25				
<p>Раздел 4. Зависимость формы математического описания аппаратов от выбранной гидродинамической модели структуры потоков.</p>	8					3

<p>Тема 9. Типовые модели гидродинамической структуры потоков вещества в аппаратах. Влияние конструктивных особенностей на неравномерность распределения времени пребывания частиц вещества в аппарате. Экспериментальная оценка структуры потоков. С- и F-кривые распределения времени пребывания частиц и их свойства. Практическое занятие. Определение параметров моделей структуры потоков по экспериментальным данным.</p>	2	4	6	ИЛ	
<p>Тема 10. Моделирование химических реакторов с учетом выбранной гидродинамической модели структуры потоков. Практическое занятие. Математическое описание химических реакторов различного типа и их сравнительная оценка.</p>	2	4	6	ИЛ	
<p>Тема 11. Моделирование теплообменных аппаратов с учетом структуры потоков. Принципы построения математических моделей теплообменников по моделям идеального смешения, вытеснения и ячеечной. Обоснование формы уравнений. Практические занятия. 1) Моделирование теплообменного аппарата на основе ячеечной модели (с различным числом ячеек и взаимным направлением движения потоков). 2) Моделирование теплообменников по модели вытеснения (прямоток, противоток) 3) Комбинированные модели при расчете теплообменников.</p>	3	4	12	ИЛ	
<p>Тема 12. Особенности расчета стационарного процесса теплопередачи с учетом зависимости физико-химических свойств теплоносителей от температуры. Учет агрегатного состояния теплоносителей при выборе уравнений для расчета теплового потока, средней разности температур и коэффициента теплопередачи. Подход к компьютерной оценке коэффициента теплопередачи. Практические занятия: 1) Моделирование теплообмена и расчет коэффициента теплопередачи. 2) Моделирование и расчет теплообменных аппаратов по различным гидродинамическим моделям с учетом зависимости коэффициента теплопередачи от температуры.</p>	2	4	12	ИЛ	
<p>Тема 13. Подходы к моделированию массообменных процессов и аппаратов. Практическое занятие. Метод аналогий в моделировании тепло- и массопереноса</p>	2		4		
<p>Раздел 5. Оптимизация технологических процессов на основе их математических моделей</p>					3

<p>Тема 14. Общее понятие об оптимизации и численных методах оптимизации. Экономические и технологические параметры целевой функции или критерия оптимальности. Однопараметрическая и многопараметрическая оптимизация. Задачи с ограничениями разного типа. Примеры численных методов оптимизации.</p>	1		2		
<p>Тема 15. Примеры использования оптимизационных задач в проектных и технологических расчетах в среде Mathcad и MS Excel. Практические занятия. 1) Определение оптимальных параметров оборудования на стадии проектирования. 2) Оценка констант скоростей реакции по экспериментальной кинетической кривой. 3) Подбор коэффициентов эмпирических уравнений оптимизационными методами.</p>	1	7	6	ИЛ	
<p>Раздел 6. Математическое моделирование сложных химико-технологических систем.</p>					
<p>Тема 16. Химико-технологическая система как объект моделирования. Понятие ХТС. Статические и динамические режимы функционирования. Элементы ХТС. Технологические операторы. Технологические потоки. Параметричность потоков. Замкнутые и разомкнутые ХТС. Математическая модель ХТС. Постановка задач синтеза и анализа ХТС. Проектный и проверочный расчеты ХТС и ее элементов. Размерность задачи расчета ХТС.</p>	2		3		
<p>Тема 17. Интегральные методы расчета стационарных режимов ХТС. Сущность интегральных методов и их применимость. Ограничения методов. Расчет материальных потоков в замкнутой ХТС матричным методом. Практическое занятие. Расчет материальных потоков в замкнутой ХТС интегральным (матричным) методом (компьютерное моделирование).</p>	1	4	6	ИЛ	3
<p>Тема 18. Декомпозиционные методы расчета стационарных режимов ХТС. Сущность декомпозиционных методов и их применимость. Формальные методы определения последовательности расчета элементов разомкнутой ХТС. Расчет материальных потоков в разомкнутой ХТС декомпозиционным методом. Структурный анализ замкнутой ХТС и ее расчет итерационным методом. Основные этапы структурного анализа ХТС. Компьютерная реализация алгоритмов. Практические занятия. 1) Расчет материальных потоков в разомкнутой. 2) Структурный анализ замкнутой ХТС. Компьютерный расчет замкнутой ХТС итерационным методом (компьютерное моделирование).</p>	2	9	6	ИЛ	

Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		18	36	63		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5		24,5		
Всего контактная работа и СР по дисциплине		106,75		145,25		

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта): Основной целью курсовой работы является привитие студентам навыков самостоятельной постановки и реализации задачи математического моделирования как отдельного аппарата (элемента ХТС), так и химико-технологической системы в целом.

4.2 Тематика курсовой работы (проекта): Курсовая работа выполняется студентами по индивидуальному заданию. Типовое задание на выполнение курсовой работы включает две обязательные части:

- расчет замкнутой ХТС интегральным и декомпозиционным методами с проверкой результата в моделирующей программе (20 вариантов индивидуальных заданий, представляющих собой графическое описание структуры ХТС и набор уравнений связи между элементами);

- разработка математического описания аппарата как элемента ХТС и реализация модели с последующим вычислительным экспериментом:

- моделирование химических реакторов различного типа;
- моделирование теплообменных аппаратов различного типа;
- моделирование колонных массообменных аппаратов для абсорбции;
- моделирование адсорбционных аппаратов;
- компьютерный анализ данных с построением эмпирических математических моделей.

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

Выбор способа реализации заданий курсовой работы (язык программирования, автоматизированная среда моделирования и расчета, математические программы) – по желанию студента. Рекомендуемые средства реализации – Lazarus, Borland Delphi, Mathcad.

Результаты представляются в виде пояснительной записки объемом от 20 стр., включая тексты разработанных программных продуктов. Пояснительная записка выполняется в текстовом редакторе с соблюдением правил оформления по ГОСТ 7.32-2017. При защите курсовой работы обучающимся должны быть продемонстрированы работоспособные программные продукты.

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-1	Раскрывает принципы построения физико-химических и эмпирических уравнений, программное обеспечение для реализации моделей. Составляет математическое описание элементов ХТС, опираясь на законы физики, химии, физической химии и других наук, выбирает методы решения систем уравнений модели и программное обеспечение. Выполняет проектные и поверочные расчеты элементов ХТС с использованием выбранных прикладных и специализированных программ, анализирует результаты расчета.	Вопросы для устного собеседования Практико-ориентированные задания Курсовая работа
ПК-3	Поясняет различие между статическими (стационарными) и динамическими моделями, обосновывает использование нестационарных моделей для прогнозирования протекания процессов во времени. Составляет описание процессов с основным аргументом - временным параметром, выбирает методы решения систем уравнений. Использует программные продукты для решения уравнений и анализирует результат. Применяет модели для прогнозирования динамики негативного воздействия факторов на окружающую среду.	Вопросы для устного собеседования Практико-ориентированные задания Курсовая работа

5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в	Обучающийся всесторонне и глубоко разработал тему на основе широкого круга источников технической литературы и

	оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу.	нормативно-технической документации, проявил самостоятельность в разработке информационного и программного обеспечения, представил правильные расчеты и выводы, применил разнообразные методы решения; нет существенных недостатков в пояснительной записке (графической части и стиле изложения), при защите курсовой работы не допущены погрешности в интерпретации подхода к решению задачи и результатов.
4 (хорошо)	Ответ полный, основанный на проработке всех обязательных источников информации. Подход к материалу ответственный, но стандартный. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.	Обучающийся в полном объеме выполнил курсовую работу, представил решение задач разнообразными методами, проявил самостоятельность в разработке информационного и программного обеспечения, представил правильные расчеты и выводы; нет существенных недостатков в пояснительной записке (графической части и стиле изложения), при защите курсовой работы допущены небольшие погрешности в интерпретации подхода к решению задачи и результатов, допущены нарушения или небрежность в оформлении работы.
3 (удовлетворительно)	Ответ воспроизводит в основном только лекционные материалы, без самостоятельной работы с рекомендованной литературой. Демонстрирует понимание предмета в целом, без углубления в детали. Присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях по некоторым темам.	Обучающийся в целом выполнил курсовую работу, представил решение всех задач, но проявил недостаточную самостоятельность в разработке информационного и программного обеспечения, и потребовалась существенная помощь преподавателя; нет существенных недостатков в пояснительной записке (графической части и стиле изложения).
2 (неудовлетворительно)	Непонимание заданного вопроса. Неспособность сформулировать хотя бы отдельные концепции дисциплины. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки).	Обучающимся представлена частично выполненная курсовая работа (решены не все задачи), при этом содержащая грубые ошибки, свидетельствующие о непонимании студентом разрабатываемой им темы. Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы.
Зачтено	Обучающийся своевременно выполнил индивидуальные задания на практических занятиях, представил результаты в виде рабочих листов Mathcad, защитил работы, возможно допуская несущественные ошибки в ответе на вопросы преподавателя.	
Не зачтено	Обучающийся выполнил частично индивидуальные задания на практических занятиях, не в полном объеме представил результаты в виде рабочих листов Mathcad, не защитил работы и/или допустил существенные ошибки в ответе на вопросы преподавателя.	

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 7	
1	Общие понятия математического моделирования. Математические модели. Классификация.
2	Основные подходы к построению математических моделей.

3	Базы данных как информационное обеспечение математического моделирования. Принципы построения. Специализированные системы управления базами данных.
4	Банк данных о физико-химических свойствах веществ и их смесей: построение и использование.
5	Анализ общих подходов к построению специализированных баз данных по параметрам технологического оборудования.
6	Эмпирико-статистические математические модели в автоматизированных расчетах. Исходные данные для построения моделей. Выбор формы уравнений. Общая постановка задачи построения моделей данного типа.
7	Основные понятия, применяемые при построении эмпирико-статистических моделей: независимые переменные, факторы, функции отклика, объем выборки, выборочные оценки и др.
8	Метод наименьших квадратов и его использование при оценке коэффициентов линейных регрессионных уравнений. Вывод системы уравнений.
9	Реализация оценки коэффициентов эмпирических уравнений в MS Excel и Mathcad (линейная регрессия общего вида, метод наименьших квадратов).
10	Физико-химические математические модели - общее понятие, основные составляющие.
11	Моделирование процессов перемещения жидкостей. Использование уравнения Бернулли.
12	Моделирование короткого разветвленного трубопровода: подход к расчету и особенности реализации.
13	Математическое моделирование процессов истечения из емкостей: принципы построения уравнений и особенности решения.
14	Моделирование химической кинетики: основные закономерности, лежащие в основе моделей.
15	Моделирование кинетики сложной химической реакции.
Семестр 8	
16	Необходимость учета особенностей гидродинамической структуры потоков вещества при построении детерминированных математических моделей.
17	Типовые модели структуры потоков вещества в аппаратах: основные допущения и области применения. Диффузионная модель и ее частные (предельные) случаи.
18	Типовые модели структуры потоков вещества в аппаратах: основные допущения и области применения. Ячеечная модель структуры потоков.
19	Экспериментальное определение параметров гидродинамических моделей.
20	Моделирование химического реактора идеального вытеснения.
21	Моделирование химического реактора идеального смешения.
22	Моделирование химического реактора на основе ячейочной модели.
23	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального смешения и ячейочной.
24	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального вытеснения. Вывод уравнений модели для прямоточной схемы движения теплоносителей.
25	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального вытеснения. Особенности решения системы уравнений для противоточной схемы движения теплоносителей.
26	Применение комбинированных моделей структуры потоков (типа смешение - вытеснение) при моделировании теплообменных аппаратов.
27	Особенности учета зависимости свойств потоков в теплообменном аппарате от температуры.
28	Компьютерный расчет коэффициента теплопередачи для различного агрегатного состояния теплоносителей.
29	Базовые понятия оптимизации технологических процессов (постановка задачи, критерий оптимальности и его аргументы, подходы к решению задачи).
30	Химико-технологическая система (ХТС). Элементы ХТС. Технологические операторы, их назначение и условные обозначения. Различные постановки задач расчета ХТС. Понятия синтеза и анализа ХТС
31	Сущность интегральных методов расчета ХТС. Применимость, достоинства и недостатки интегральных методов.
32	Разомкнутые и замкнутые ХТС. Типы связей между элементами системы. Особенности расчета разомкнутых и замкнутых ХТС.
33	Сущность декомпозиционных методов расчета ХТС, их применимость, достоинства и недостатки.
34	Формальные методы определения последовательности расчета элементов разомкнутой ХТС. Возможность компьютерной реализации методов.
35	Структурный анализ замкнутой ХТС – основные этапы и их сущность.
36	Реализация итерационных алгоритмов расчета ХТС на основе результатов структурного анализа замкнутой схемы.

5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрены.

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. В аппарат поступают 2 входных потока, для которых заданы массовые расходы G_1 и G_2 (в кг/ч), и 2 выходных с массовыми расходами G_3 и G_4 . Запишите уравнения материального баланса.

2. В аппарат поступают 2 входных потока, для которых заданы объемные расходы V_1 и V_2 (в м³/ч), и 2 выходных с объемными расходами V_3 и V_4 . Плотности всех потоков известны, обозначим их как $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ соответственно. Запишите уравнения материального баланса.

3. Для химической реакции, протекающей по схеме $A_1 + A_2 = 2 A_3$ запишите уравнение материального баланса, если в ходе реакции объем реакционной смеси не меняется.

Другие примеры практико-ориентированных заданий приведены в приложении к программе дисциплины (по семестрам изучения дисциплины).

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

• время на подготовку к устному собеседованию составляет 20 минут, на выполнение практического задания на компьютере – до 45 минут.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				
Бусыгин Н. Ю.	Моделирование процессов защиты окружающей среды	СПб.: СПбГУПТД	2019	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019174
Клинов, А. В., Малыгин, А. В., Анашкин, И. П., Минибаева, Л. Р.	Моделирование химико-технологических процессов в пакете Mathcad Prime	Казань: Издательство КНИТУ	2022	https://www.iprbooks.hop.ru/136167.html
Шимова, Ю. С., Демиденко, Н. Ю., Лис, Е. В.	Моделирование химико-технологических процессов	Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева	2021	https://www.iprbooks.hop.ru/116642.html
6.1.2 Дополнительная учебная литература				
Бусыгин Н. Ю.	Моделирование процессов защиты окружающей среды. Курсовая работа	СПб.: СПбГУПТД	2016	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=3432
Бусыгин Н. Ю.	Моделирование процессов защиты окружающей среды. Контрольная работа	СПб.: СПбГУПТД	2019	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019134
Бусыгин Н. Ю.	Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии. Решение задач в среде Mathcad	СПб.: СПбГУПТД	2014	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2178
Бусыгин Н. Ю., Багров И. В.	Автоматизированные расчеты химико-технологических систем. Интегральные и декомпозиционные методы	СПб.: СПбГУПТД	2015	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2493

Евдокимов, А. Н., Курзин, А. В.	Моделирование химико-технологических процессов (экспериментально-статистические модели)	Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна	2018	https://www.iprbookshop.ru/102527.html
------------------------------------	---	--	------	---

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел. Информатика и информационные технологии» [Электронный ресурс]. URL: http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.75.6

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел. Вычислительная математика. Математическое моделирование. Численные методы» [Электронный ресурс]. URL: http://window.edu.ru/catalog/resources?p_rubr=2.2.74.12.57

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>

Информационно-образовательная среда СПбГУПТД <https://portal.sutd.ru/> с образовательными ресурсами по дисциплине, в том числе видеоматериалами для практических занятий.

Информационно-образовательная среда заочного обучения СПбГУПТД <http://edu.sutd.ru/moodle/>.

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftOfficeProfessional

Microsoft Windows

Mathcad Education – University Edition Term

1С-Битрикс: Внутренний портал учебного заведения

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

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду

Приложение

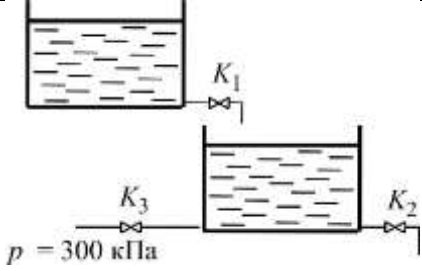
рабочей программы дисциплины __Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

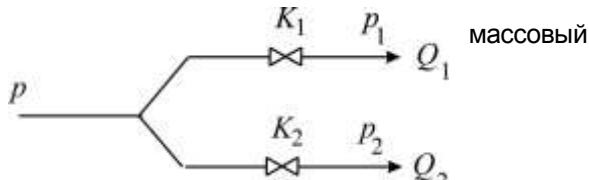
по направлению подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

наименование ОП (профиля): Техника и технология ресурсосберегающих процессов и защита окружающей среды

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

№	Условия практико-ориентированных заданий (задач, кейсов)													
Семестр № 7														
1	Проанализируйте уравнение Аррениуса $k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$ с точки зрения подхода к оценке предэкспоненциального множителя и энергии активации методом линейной регрессии. Определите вид функции отклика и факторов. Предложите программные средства решения задачи.													
2	<p>Для химической реакции, протекающей по схеме $A_1 + A_2 \rightarrow 2A_3$ запишите кинетические уравнения. Предложите метод и программные средства для решения уравнений.</p> <p>Варианты заданий для сложных реакций:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Схема реакций</th> <th>Исходные данные</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td> $A_1 \xrightarrow{k_1} A_2 \xrightarrow{k_2} 2A_3$ $A_3 + A_4 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} 2A_5$ </td> <td> $C_1^0 = 1; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,3;$ $C_4^0 = 0,6; C_5^0 = 0; k_1 = 0,8;$ $k_2 = 0,3; k_3 = 0,7; k_4 = 0,25$ $\tau = 0..6$ </td> </tr> <tr> <td>2</td> <td> $2A_1 \xrightarrow{k_1} A_2 \xrightarrow{k_2} A_3$ $2A_3 + A_4 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} A_5$ </td> <td> $C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,3;$ $C_4^0 = 0,6; C_5^0 = 0; k_1 = 0,5;$ $k_2 = 0,7; k_3 = 0,2; k_4 = 0,95;$ $\tau = 0..6$ </td> </tr> <tr> <td>3</td> <td> $2A_1 \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A_2 + A_3$ $2A_3 \xrightarrow{k_3} A_4$ </td> <td> $C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,2;$ $C_4^0 = 0,1; k_1 = 0,7; k_2 = 0,3;$ $k_3 = 0,6; \tau = 0..5$ </td> </tr> </tbody> </table>			Схема реакций	Исходные данные	1	$A_1 \xrightarrow{k_1} A_2 \xrightarrow{k_2} 2A_3$ $A_3 + A_4 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} 2A_5$	$C_1^0 = 1; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,3;$ $C_4^0 = 0,6; C_5^0 = 0; k_1 = 0,8;$ $k_2 = 0,3; k_3 = 0,7; k_4 = 0,25$ $\tau = 0..6$	2	$2A_1 \xrightarrow{k_1} A_2 \xrightarrow{k_2} A_3$ $2A_3 + A_4 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} A_5$	$C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,3;$ $C_4^0 = 0,6; C_5^0 = 0; k_1 = 0,5;$ $k_2 = 0,7; k_3 = 0,2; k_4 = 0,95;$ $\tau = 0..6$	3	$2A_1 \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A_2 + A_3$ $2A_3 \xrightarrow{k_3} A_4$	$C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,2;$ $C_4^0 = 0,1; k_1 = 0,7; k_2 = 0,3;$ $k_3 = 0,6; \tau = 0..5$
	Схема реакций	Исходные данные												
1	$A_1 \xrightarrow{k_1} A_2 \xrightarrow{k_2} 2A_3$ $A_3 + A_4 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} 2A_5$	$C_1^0 = 1; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,3;$ $C_4^0 = 0,6; C_5^0 = 0; k_1 = 0,8;$ $k_2 = 0,3; k_3 = 0,7; k_4 = 0,25$ $\tau = 0..6$												
2	$2A_1 \xrightarrow{k_1} A_2 \xrightarrow{k_2} A_3$ $2A_3 + A_4 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} A_5$	$C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,3;$ $C_4^0 = 0,6; C_5^0 = 0; k_1 = 0,5;$ $k_2 = 0,7; k_3 = 0,2; k_4 = 0,95;$ $\tau = 0..6$												
3	$2A_1 \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A_2 + A_3$ $2A_3 \xrightarrow{k_3} A_4$	$C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,2;$ $C_4^0 = 0,1; k_1 = 0,7; k_2 = 0,3;$ $k_3 = 0,6; \tau = 0..5$												

№	Условия практико-ориентированных заданий (задач, кейсов)	
4	$A_1 \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A_2 + A_3$ $2A_3 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} A_4$	$C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0; C_3^0 = 0,2;$ $C_4^0 = 0,1; k_1 = 0,7; k_2 = 0,1;$ $k_3 = 0,3; k_4 = 0,2; \tau = 0..6$
5	$A_1 + A_2 \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A_3$ $2A_3 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} A_4$	$C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0,7; C_3^0 = 0,2;$ $C_4^0 = 0; k_1 = 0,7; k_2 = 0,1;$ $k_3 = 0,3; k_4 = 0,2; \tau = 0..5$
6	$2A_1 \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A_2$ $2A_2 \xrightarrow{k_3} A_3 + A_4$	$C_1^0 = 0,8; C_2^0 = 0,1; C_3^0 = 0$ $C_4^0 = 0,5; k_1 = 0,8; k_2 = 0,3;$ $k_3 = 0,5; \tau = 0..6$
7	$A_1 \xrightarrow{k_1} 2A_2 \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} A_3 + A_4$	$C_1^0 = 0,8; C_2^0 = 0,1; C_3^0 = 0;$ $C_4^0 = 0,5; k_1 = 0,8; k_2 = 0,3;$ $k_3 = 0,1; \tau = 0..6$
8	$A_1 + A_2 \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2A_3$ $A_3 \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} A_4 + 2A_5$	$C_1^0 = 0,8; C_2^0 = 0,6; C_3^0 = 0,2;$ $C_4^0 = 0; C_5^0 = 0,4; k_1 = 0,7;$ $k_2 = 0,3; k_3 = 0,2; k_4 = 0,5; \tau = 0..6$
9	$A_1 + A_2 \xrightarrow{k_1} 2A_3$ $A_3 + A_1 \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} A_4$	$C_1^0 = 0,8; C_2^0 = 0,6; C_3^0 = 0,2;$ $C_4^0 = 0; k_1 = 0,7; k_2 = 0,3;$ $k_3 = 0,4; \tau = 0..6$
10	$A_1 \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2A_2$ $A_2 + A_3 \xrightarrow{k_3} A_4 \xrightarrow{k_4} 2A_5$	$C_1^0 = 0,9; C_2^0 = 0,3; C_3^0 = 0,7;$ $C_4^0 = 0,1; C_5^0 = 0; k_1 = 0,6;$ $k_2 = 0,1; k_3 = 0,65; k_4 = 1,1;$ $\tau = 0..6$
3	 <p>Постройте математическую модель гидравлической системы. Определите изменение уровня жидкости (бензол – толуол) в емкостях на интервале [0, 60]. В начальный момент времени уровень жидкости в сосудах $H_1 = 10, H_2 = 2$ м. Концентрация бензола-50%. $\zeta_1 = \zeta_2 = \zeta_3 = 1$. Диаметр патрубков 0,035 м. Сечение резервуаров $S_1 = S_2 = 2$ м². Температура жидкости – 25 °С.</p>	

№	Условия практико-ориентированных заданий (задач, кейсов)																		
4	<p>Постройте математическую модель короткого разветвленного трубопровода. Определите расход и режим течения в каждой из ветвей трубопровода.</p> 																		
5	<p>В таблице приведена зависимость давления насыщенного пара диметилацетамида от температуры.</p> <table border="1" data-bbox="252 407 1503 528"> <tr> <td>$t, ^\circ\text{C}$</td> <td>25</td> <td>40</td> <td>70</td> <td>90</td> <td>110</td> <td>130</td> <td>150</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>$p, \text{кПа}$</td> <td>0,17</td> <td>1,1</td> <td>3,36</td> <td>5,94</td> <td>9,68</td> <td>15,1</td> <td>34,7</td> <td>50</td> </tr> </table> <p>Найдите коэффициенты уравнений и установите, какое из приведенных соотношений наилучшим образом описывает экспериментальные данные?</p> $\ln p = \frac{A}{T} + B; \quad \ln p = \frac{A}{T} + B + C \ln T; \quad \ln p = \frac{A}{T} + B + C \ln T + D_1 T;$ $\ln p = \frac{A}{T} + B + C \ln T + D_1 T + D_2 T^2.$	$t, ^\circ\text{C}$	25	40	70	90	110	130	150	165	$p, \text{кПа}$	0,17	1,1	3,36	5,94	9,68	15,1	34,7	50
$t, ^\circ\text{C}$	25	40	70	90	110	130	150	165											
$p, \text{кПа}$	0,17	1,1	3,36	5,94	9,68	15,1	34,7	50											
Семестр № 8																			
6	<p>В аппарат поступают 2 входных потока, для которых заданы объемные расходы V_1 и V_2 (в $\text{м}^3/\text{ч}$), и 2 выходных с объемными расходами V_3 и V_4. Плотности всех потоков известны, обозначим их как $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ соответственно. Запишите уравнения материального баланса.</p>																		
7	<p>Проведите структурный анализ замкнутой ХТС в целях определения последовательности расчета элементов (25 вариантов схем).</p>																		
8	<p>Определите оптимальное время проведения химической реакции $A_1 \xrightarrow{k_1} A_2 \xrightarrow{k_2} A_3$ в реакторе идеального вытеснения, приняв в качестве критерия оптимальности выход целевого компонента A_2.</p> <p>Значения констант скоростей реакции: $k_1 = 0,4 \text{ мин}^{-1}$; $k_2 = 0,1 \text{ мин}^{-1}$.</p> <p>Начальные концентрации компонентов: $c_1^0 = 0,5 \text{ кмоль/м}^3$; $c_2^0 = 0$; $c_3^0 = 0$.</p>																		