

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор, проректор
по УР

_____ А.Е. Рудин

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ.02.02 Автоматизированные расчеты химико-технологических систем

Учебный план: 2026-2027 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 математического моделирования сложных технических систем и их элементов в целях исследования, прогнозирования результатов функционирования, оптимизации, в том числе с позиций энерго- и ресурсосбережения.

1.2 Задачи дисциплины:

- продемонстрировать концептуальные подходы к постановке и решению задач анализа и синтеза сложных химико-технологических систем (ХТС);
- обучить математическому аппарату, применяемому для решения задач расчета сложных ХТС, в том числе в системах автоматизированного расчета;
- сформировать навыки построения математических моделей типовых процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии на основе феноменологических и эмпирико-статистических подходов и исследования процессов по этим моделям.

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Математика
Численные методы в химико-технологических расчетах
Информационные технологии
Физическая химия
Общая химическая технология
Процессы и аппараты химической технологии
Промышленная экология
Техника и технологии ресурсосберегающих процессов

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: основы моделирования технологических систем как совокупности технологических аппаратов; математические основы расчета сложных химико-технологических систем.

Уметь: разрабатывать математические описания технологических систем на основе интегральных и декомпозиционных методов.

Владеть: навыками расчета технологических систем с использованием доступного программного обеспечения; навыками проведения расчетов для обоснования проектов расширения и реконструкции действующих производств.

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

Знать: современные методы исследования технологических и природоохранных процессов, в том числе методами расчета сложных систем.

Уметь: обрабатывать данные, полученные в результате эксперимента; делать выводы и вырабатывать заключения по результатам работы.

Владеть: методами математического моделирования в оптимизации и проектировании процессов химической технологии, методами идентификации параметров модели и адекватности модели

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. Математическое моделирование сложных химико-технологических систем.	7					3
Тема 1. 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 поверочный расчеты ХТС и ее элементов. Размерность задачи расчета ХТС.		2		7	ИЛ	
Тема 2. 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).		2	4	6,75	ИЛ	
Тема 3. 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. Практическое занятие. Расчет материальных потоков в разомкнутой ХТС (компьютерное моделирование).		2	4	6	ИЛ	
Тема 4. Структурный анализ замкнутой ХТС и ее расчет итерационным методом. Итерационный подход к расчету замкнутых ХТС при реализации декомпозиционного метода. Основные этапы структурного анализа ХТС. Компьютерная реализация алгоритмов. Практическое занятие. Структурный анализ замкнутой ХТС. Компьютерный расчет замкнутой ХТС итерационным методом (компьютерное моделирование).		2	6	6	ИЛ	

Тема 5. Программные пакеты для автоматизированного расчета сложных ХТС. Обсуждение подходов к автоматизации расчета ХТС произвольной структуры, требований унификации описаний структур потоков, входных и выходных параметров программных модулей расчета типовых элементов. Необходимое информационное обеспечение расчетов. Типовая структура программного продукта. Практическое занятие. Расчет материальных потоков в разомкнутой ХТС (компьютерное моделирование).		2	4	6	ИЛ	
Раздел 2. Типовое информационное обеспечение автоматизированных расчетов химико-технологических систем						
Тема 6. Специализированные базы и банки данных как основа информационного обеспечения автоматизированных расчетов. Базы данных как совокупность связанных табличных структур. Компоненты баз данных. Системы управления базами данных (СУБД), их назначение и основные функции. СУБД универсальные и специализированные.				7	ИЛ	
Тема 7. Банк данных по физико-химическим свойствам веществ и смесей как инструмент автоматизированного расчета свойств технологических потоков. Этапы создания банка данных. Выбор уравнений для оценки свойств чистых веществ и их смесей. Определение набора физико-химических констант и параметров корреляций для хранения в базе данных. Специализированная СУБД банка данных и ее использование в обслуживании базы данных и расчетах свойств потоков. Использование банка данных по физико-химическим свойствам веществ и смесей в программных модулях расчета элементов ХТС. Практическое занятие. Изучение структуры и возможностей банка данных по свойствам веществ и смесей и его СУБД (компьютерное моделирование).		2	4	6	ИЛ	3
Тема 8. Построение и применение баз данных (БД) по типовому оборудованию. Общий подход к построению и хранению данных. Изучение принципов создания и применения БД на примере базы данных по теплообменным кожухотрубным аппаратам. Практическое занятие. Автоматизированная оценка свойств технологических потоков в модулях расчета аппаратов по банку данных (компьютерное моделирование)		2	6	6	ИЛ	

Тема 9. Эмпирические математические модели: получение и их использование в информационном обеспечении технологических расчетов. 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 и его реализация. Обзор доступных программных средств регрессионного анализа. Практическое занятие. Метод наименьших квадратов и его использование для оценки коэффициентов эмпирических уравнений. Реализация линейной регрессии в среде математического пакета Mathcad (компьютерное моделирование).		2	4	7	ИЛ	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		16	32	57,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет, Курсовая работа)		2,25				
Раздел 3. Физико-химические математические модели элементов ХТС.						
Тема 10. Общие подходы к построению физико-химических детерминированных математических моделей объектов химической и смежных технологий. Описание равновесия, кинетики, условий массопереноса как составляющих математической модели процесса. Представление о гидродинамической структуре потоков как определяющий фактор выбора формы математического описания. Типовые модели гидродинамической структуры потоков и их применение. Практическое занятие. Определение параметров гидродинамических моделей.	8	4	4	12	ИЛ	3
Тема 11. Моделирование гидравлических систем как пример построения детерминированных моделей разной математической формы. Моделирование процессов в установках монтажу. Моделирование короткого разветвленного трубопровода. Моделирование процессов истечения. Практическое занятие. Исследование гидравлических систем по математическим моделям.		2	4	12	ИЛ	
Тема 12. Моделирование стационарных процессов в теплообменных аппаратах для целей проектного расчета. Практическое занятие. Изучение зависимости формы математического описания теплообменных аппаратов от выбранной гидродинамической структуры потоков теплоносителей.		2	8	12	ИЛ	
Раздел 4. Математическое моделирование аппаратов с учетом выбранной гидродинамической модели структуры потоков.						3

Тема 13. Моделирование теплообменных аппаратов с учетом принятой модели структуры потоков. Практическое занятие. Оценка коэффициента теплопередачи для различных состояний теплоносителей в компьютерных расчетах.		4	8	12	ИЛ	
Тема 14. Моделирование химических реакторов с учетом выбранной гидродинамической модели структуры потоков. Материальный баланс химической реакции. Общая скорость реакции. Моделирование кинетики сложных реакций. Моделирование химических реакторов на основе моделей идеального вытеснения, идеального смешения, ячеечной. Практическое занятие. Моделирование и расчет кинетики химического взаимодействия. Исследование моделей химических реакторов.		4	8	9	ИЛ	
Тема 15. Подходы к моделированию массообменных процессов и аппаратов. Практическое занятие. Метод аналогий в моделировании тепло- и массопереноса.		2	4	6	АС	
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): 1) математическое описание ХТС и расчет материальных потоков; 2) моделирование и расчет аппаратов для энерго- и ресурсосбережения; 3) обработка экспериментальных данных для моделирования процессов ресурсосбережения; 4) структурный анализ сложных ХТС с расчетом материальных потоков.

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	Приводит определение ХТС, описывает типы связей между элементами, различия между замкнутыми и разомкнутыми ХТС; описывает постановку задачи синтеза и анализа ХТС; характеризует интегральные и декомпозиционные методы расчета ХТС Составляет единое математическое описание ХТС на основе уравнений материального и теплового балансов (интегральный подход); проводит структурный анализ замкнутой ХТС, составляет	Вопросы для устного собеседования. Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы). Курсовая работа.

	математические описания элементов; выбирает методы решения систем уравнений модели. Выполняет проектные и проверочные расчеты ХТС и ее элементов с использованием выбранных прикладных и специализированных программ, анализирует результаты расчета.	
ПК-3	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 проверочные расчеты элементов ХТС с использованием выбранных прикладных и специализированных программ, анализирует результаты расчета.	Вопросы для устного собеседования. Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы). 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 оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу.	Обучающийся всесторонне и глубоко разработал тему на основе широкого круга источников технической литературы и 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	Химико-технологическая система (ХТС). Элементы ХТС. Технологические операторы, их назначение и условные обозначения.
2	Различные постановки задач расчета ХТС. Понятия синтеза и анализа ХТС
3	Разомкнутые и замкнутые ХТС. Типы связей между элементами системы. Особенности расчета разомкнутых и замкнутых ХТС
4	Сущность интегральных методов расчета ХТС. Применимость, достоинства и недостатки интегральных методов.
5	Расчет материальных потоков ХТС интегральным методом на основе уравнений материального баланса и линейных уравнений связи.
6	Сущность декомпозиционных методов расчета ХТС, их применимость, достоинства и недостатки.
7	Формальные методы определения последовательности расчета элементов разомкнутой ХТС. Возможность компьютерной реализации методов.
8	Структурный анализ замкнутой ХТС – основные этапы и их сущность.
9	Реализация итерационных алгоритмов расчета ХТС на основе результатов структурного анализа схемы.
10	Общие требования унификации при построении автоматизированных систем расчета ХТС произвольной структуры.
11	Особенности автоматизированного расчета ХТС в среде моделирующей программы M92.
12	Понятие баз данных. Реляционные базы данных.
13	Система управления базой данных (СУБД) – общее понятие и назначение. Универсальные и специализированные СУБД.
14	Назначение и структура банка данных по физико-химическим параметрам веществ и смесей. Особенности СУБД.
15	Технология использования модулей расчета свойств из библиотеки банка данных по физико-химическим параметрам веществ и смесей в расчетах элементов ХТС.
16	Анализ общих подходов к построению специализированных баз данных по параметрам технологического оборудования.
17	Эмпирико-статистические математические модели в автоматизированных расчетах. Исходные данные для построения моделей. Выбор формы уравнений. Общая постановка задачи построения моделей данного типа.
18	Основные понятия, применяемые при построении эмпирико-статистических моделей: независимые переменные, факторы, функции отклика, объем выборки, выборочные оценки и др.
19	Метод наименьших квадратов и его использование при оценке коэффициентов линейных регрессионных уравнений. Вывод системы уравнений.
20	Нелинейная регрессия общего вида.
21	Реализация линейной регрессии общего вида в Mathcad.
22	Детерминированные математические модели: определение, подходы к построению, основные составляющие моделей.
23	Необходимость учета особенностей гидродинамической структуры потоков вещества при построении детерминированных математических моделей.
24	Типовые модели структуры потоков вещества в аппаратах: основные допущения и области применения.
25	Математическое моделирование гидравлических систем. Модель трубопровода.
26	Математическое моделирование гидравлических систем. Моделирование процессов истечения жидкостей из емкостей.

27	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального смешения и ячеечной.
28	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального вытеснения. Вывод уравнений модели для прямоточной схемы движения теплоносителей.
29	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального вытеснения. Особенности решения системы уравнений для противоточной схемы движения теплоносителей.
30	Особенности учета зависимости свойств потоков в теплообменном аппарате от температуры.
31	Компьютерный расчет коэффициента теплопередачи для различного агрегатного состояния теплоносителей.
32	Математическое моделирование химической кинетики.
33	Модель химического реактора идеального смешения.
34	Модель химического реактора идеального вытеснения.
Семестр 8	
35	Физико-химические математические модели - общее понятие, основные составляющие.
36	Моделирование процессов перемещения жидкостей. Использование уравнения Бернулли.
37	Моделирование короткого разветвленного трубопровода: подход к расчету и особенности реализации.
38	Математическое моделирование процессов истечения из емкостей: принципы построения уравнений и особенности решения.
39	Моделирование химической кинетики: основные закономерности, лежащие в основе моделей.
40	Моделирование кинетики сложной химической реакции.
41	Необходимость учета особенностей гидродинамической структуры потоков вещества при построении детерминированных математических моделей.
42	Типовые модели структуры потоков вещества в аппаратах: основные допущения и области применения. Диффузионная модель и ее частные (предельные) случаи.
43	Типовые модели структуры потоков вещества в аппаратах: основные допущения и области применения. Ячеечная модель структуры потоков.
44	Экспериментальное определение параметров гидродинамических моделей.
45	Моделирование химического реактора идеального вытеснения.
46	Моделирование химического реактора идеального смешения.
47	Моделирование химического реактора на основе ячеечной модели.
48	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального смешения и ячеечной.
49	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального вытеснения. Вывод уравнений модели для прямоточной схемы движения теплоносителей.
50	Моделирование теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей на основе модели идеального вытеснения. Особенности решения системы уравнений для противоточной схемы движения теплоносителей.
51	Применение комбинированных моделей структуры потоков (типа смешение - вытеснение) при моделировании теплообменных аппаратов.
52	Особенности учета зависимости свойств потоков в теплообменном аппарате от температуры.
53	Компьютерный расчет коэффициента теплопередачи для различного агрегатного состояния теплоносителей.
54	Базовые понятия оптимизации технологических процессов (постановка задачи, критерий оптимальности и его аргументы, подходы к решению задачи).

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 ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_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.

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 30 минут;
- время на выполнение практического задания на компьютере – 45 минут;
- при защите курсовой работы демонстрация студентами работоспособных программных продуктов, представленных в пояснительной записке, обязательна.

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
Жукова, И. Ю., Дегтярь, Л. А., Демьян, В. В.	Моделирование химико-технологических процессов	Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет	2019	https://www.iprbooks.hop.ru/117721.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				
Гончаренко, А. Н.	Моделирование систем. Инструменты и возможности моделирования производственных систем	Москва: Издательский Дом МИСиС	2020	https://www.iprbooks.hop.ru/116945.html
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
Воробьев, Е. С., Каралин, Э. А., Воробьева, Ф. И.	Моделирование химико-технологических процессов. В 2 частях. Ч.1. Статистические расчеты и обработка эксперимента. Реализация решений в среде Microsoft Excel	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2019	http://www.iprbookshop.ru/100562.html

Воробьев, Е. С., Каралин, Э. А., Воробьева, Ф. И.	Моделирование химико-технологических процессов. В 2 частях. Ч.2. Планирование оптимального эксперимента, реализация решений в среде Microsoft Excel	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2019	http://www.iprbookshop.ru/109559.html
Казиев, В. М.	Введение в анализ, синтез и моделирование систем	Москва, Саратов: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа	2020	https://www.iprbookshop.ru/89425.html

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

1. ЭБС «IPRbooks», <http://www.iprbookshop.ru>
2. ЭБС «СПбГУПТД», <http://publish.sutd.ru>
3. 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

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftOfficeProfessional
Microsoft Windows
Mathcad Education – University Edition Term

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

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