

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

« 21 » \_\_\_\_ 02 \_\_\_\_ 2023 года

## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.ДВ.01.01** Моделирование процессов защиты окружающей среды

Учебный план: 2023-2024 20.03.01 ИПХиЭ ТБ ОО №1-1-98.plx

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

Направление подготовки:  
(специальность) 20.03.01 Техносферная безопасность

Профиль подготовки: Инженерная защита окружающей среды  
(специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) | Контактная работа<br>обучающихся |                   | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоё<br>мкость,<br>ЗЕТ | Форма<br>промежуточной<br>аттестации |                             |
|---------------------------|----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
|                           | Лекции                           | Практ.<br>занятия |                |                   |                          |                                      |                             |
| 5                         | УП                               | 17                | 34             | 56,75             | 0,25                     | 3                                    | Зачет                       |
|                           | РПД                              | 17                | 34             | 56,75             | 0,25                     | 3                                    |                             |
| 6                         | УП                               | 17                | 51             | 71,5              | 4,5                      | 4                                    | Курсовая работа,<br>Экзамен |
|                           | РПД                              | 17                | 51             | 71,5              | 4,5                      | 4                                    |                             |
| Итого                     | УП                               | 34                | 85             | 128,25            | 4,75                     | 7                                    |                             |
|                           | РПД                              | 34                | 85             | 128,25            | 4,75                     | 7                                    |                             |

Санкт-Петербург  
2023

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, утвержденным приказом Минобрнауки России от 25.05.2020 г. № 680

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 детерминированных 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:

Физическая химия

Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии

Тепломассообменные процессы в защите окружающей среды

Информационные технологии

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### ПК-3: Способен осуществлять разработку и эколого-экономическое обоснование планов внедрения природоохранной техники и технологии в организации

**Знать:** место и роль математического моделирования как метода познания, средства установления взаимосвязи технологических параметров и оптимизации технологических процессов.

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

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

### ПК-4: Способен устанавливать причины и последствия аварийных выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, подготавливать предложения по предупреждению негативных последствий

**Знать:** принципы построения математических моделей, их классификацию и подходы к реализации.

**Уметь:** разрабатывать математические модели типовых процессов и аппаратов в области защиты окружающей среды; осуществлять постановку задачи аппроксимации.

**Владеть:** навыками реализации моделей и анализа результатов моделирования; навыками решения типовых задач аппроксимации.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий  | Семестр<br>(курс для ЗАО) | Контактная работа |               | СР<br>(часы) | Инновац.<br>формы<br>занятий | Форма<br>текущего<br>контроля |
|--|---------------------------|-------------------|---------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|
|  |                           | Лек.<br>(часы)    | Пр.<br>(часы) |              |                              |                               |
| Раздел 1. Математические модели в автоматизированном расчете систем инженерной защиты окружающей среды   | 5                         |                   |               |              |                              | ,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. Практическое занятие. Сетевые информационные ресурсы по физико-химическим свойствам веществ и смесей. |                           | 2                 | 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                 | 8             | 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             | 6            |                              | 3                             |

|  |   |      |    |       |    |   |
|--|---|------|----|-------|----|---|
| <p>Тема 4. Программные средства для построения эмпирико-статистических моделей.<br/>Использование электронных таблиц MS Excel для получения моделей путем построения линии тренда. Линейная регрессия общего вида в Mathcad. Особенности реализации и использования метода наименьших квадратов в общем виде применительно к линейной регрессии. Практическое занятие. Построение линейных по форме эмпирико-статистических моделей.</p> |   | 2    | 4  | 8     | ИЛ |   |
| <p>Тема 5. Нелинейные эмпирико-статистические математические модели. Линеаризация моделей для использования типовых методов и программных средств. Альтернативные методы оценки коэффициентов нелинейных эмпирических моделей. Нелинейная регрессия в Mathcad. 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. Описание гидродинамики, равновесия в системе, кинетики и условий тепломассопереноса как основные составляющие физико-химических моделей. Две постановки задачи расчета процессов и аппаратов по моделям.</p>  |   | 1    |    | 4     |    |   |
| <p>Тема 7. Моделирование гидравлических систем как пример построение физико-химических математических моделей. Оценка расхода жидкости через местное сопротивление. Моделирование и расчет короткого разветвленного трубопровода. Моделирование процессов истечения. Практическое занятие. Моделирование процессов перемещения жидкостей. 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. Материальный баланс простой химической реакции. Закон действующих масс. Построение кинетических уравнений для случаев простой и сложной химических реакций. Практическое занятие. Моделирование кинетики сложной химической реакции</p>  |   | 2    | 4  | 8     | ИЛ |   |
| <p>Итого в семестре (на курсе для ЗАО)</p>   |   | 17   | 34 | 56,75 |    |   |
| <p>Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)</p>   |   | 0,25 |    |       |    |   |
| <p>Раздел 4. Зависимость формы математического описания аппаратов от выбранной гидродинамической модели структуры потоков.</p>   | 6 |      |    |       |    | 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 | 6 | 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 | 6 | 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.<br/>1) Моделирование теплообменного аппарата на основе ячеечной модели (с различным числом ячеек и взаимным направлением движения потоков).<br/>2) Моделирование теплообменников по модели вытеснения (прямоток, противоток)<br/>3) Комбинированные модели при расчете теплообменников.</p>  |  | 3 | 8 | 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:<br/>1) Моделирование теплообмена и расчет коэффициента теплопередачи.<br/>2) Моделирование и расчет теплообменных аппаратов по различным гидродинамическим моделям с учетом зависимости коэффициента теплопередачи от температуры.</p> |  | 2 | 8 | 12 | ИЛ |   |
| <p>Тема 13. Подходы к моделированию массообменных процессов и аппаратов. Практическое занятие. Метод аналогий в моделировании тепло- и массопереноса</p>  |  | 2 | 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.<br/>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.<br/>Практические занятия.<br/>1) Определение оптимальных параметров оборудования на стадии проектирования.<br/>2) Оценка констант скоростей реакции по экспериментальной кинетической кривой.<br/>3) Подбор коэффициентов эмпирических уравнений оптимизационными методами.</p>   | 1 | 8 | 10   | ИЛ |   |
| <p>Раздел 6. Математическое моделирование сложных химико-технологических систем.</p>   |   |   |      |    |   |
| <p>Тема 16. Химико-технологическая система как объект моделирования.<br/>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.</p>   | 1 |   | 3    |    |   |
| <p>Тема 17. Интегральные методы расчета стационарных режимов ХТС.<br/>Сущность интегральных методов и их применимость. Ограничения методов. Расчет материальных потоков в замкнутой ХТС матричным методом.<br/>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.<br/>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.<br/>Основные этапы структурного анализа ХТС. Компьютерная реализация алгоритмов.<br/>Практические занятия.<br/>1) Расчет материальных потоков в разомкнутой.<br/>2) Структурный анализ замкнутой ХТС. Компьютерный расчет замкнутой ХТС итерационным методом (компьютерное моделирование).</p> | 2 | 9 | 10,5 | ИЛ |   |

|  |  |        |    |        |  |  |
|--|--|--------|----|--------|--|--|
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                |  | 17     | 51 | 71,5   |  |  |
| Консультации и промежуточная аттестация (Курсовая работа, Экзамен) |  | 4,5    |    |        |  |  |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>                  |  | 123,75 |    | 128,25 |  |  |

#### 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 по выбору преподавателя 2 задания из приведенных ниже

- разработка математического описания аппарата как элемента ХТС и реализация модели с последующим вычислительным экспериментом;
- обработка набора экспериментальных данных с получением эмпирической математической модели методами линейной или нелинейной регрессии, оптимизационными методами;
- расчет замкнутой ХТС интегральным и декомпозиционным методами с проверкой результата в моделирующей программе.

**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 – Borland Delphi (Lazarus), 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-3            | <p>Приводит общее определение математической модели и описание ее параметров, элементы классификации, характеризует подходы к постановке задачи расчета по моделям, определяет роль математического моделирования в технологических расчетах и научных исследованиях.</p> <p>Определяет исходные данные, выбор формы уравнения, обосновывает принцип оценки коэффициентов модели, оценки качества аппроксимации; составляет детерминированные математические описания аппаратов с учетом гидродинамической структуры потоков, равновесия и кинетики процессов, условий теплообмена.</p> <p>Выполняет проектные или поверочные расчеты по модели (моделирование гидравлических систем, химической кинетики, теплообменной аппаратуры и др.), анализирует результаты моделирования, проводит вычислительный эксперимент.</p> | <p>Вопросы для устного собеседования</p> <p>Практико-ориентированные задания</p> <p>Курсовая работа</p> |
| ПК-4            | <p>Описывает подходы к решению задачи аппроксимации таблично заданной функции (таблицы наблюдений) математической зависимостью, формулирует принцип наименьших квадратов, дает определения базовых понятий регрессионного анализа.</p> <p>Преобразует эмпирико-статистические модели для оценки их коэффициентов с использованием доступного программного обеспечения.</p> <p>Оценивает коэффициент эмпирических моделей на основе регрессионного анализа, оценивает результаты аппроксимации; реализует на компьютере оценку коэффициентов эмпирических математических моделей с использованием доступного программного обеспечения (MSExcel, Mathcad, Delphi).</p>   | <p>Вопросы для устного собеседования</p> <p>Практико-ориентированные задания</p> <p>Курсовая работа</p> |

### 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 стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.   | Обучающийся в полном объеме выполнил задание, 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 неполный, основанный только на лекционных материалах. При понимании сущности предмета в целом – существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов.  | Обучающийся в целом выполнил задание, представил решение всех задач, но проявил недостаточную самостоятельность в разработке информационного и программного обеспечения, и потребовалась существенная помощь преподавателя; пояснительная записка оформлена небрежно.  |
| 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 работа (решены не все задачи), при этом содержащая грубые ошибки, свидетельствующие о непонимании студентом разрабатываемой им темы.   |
| 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 5 |   |
| 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 6 |   |
| 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. Проанализируйте уравнение Аррениуса, описывающего зависимость константы скорости реакции от температуры, 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. В аппарат поступают 2 входных потока, для которых заданы объемные расходы  $V_1$  и  $V_2$  (в м<sup>3</sup>/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 обратимой химической реакции, протекающей по схеме  $A_1 + A_2 \leftrightarrow 2 A_3$ , запишите кинетические уравнения. Предложите метод и программные средства для решения уравнений.

## 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»

К зачету и экзамену допускаются студенты, выполнившие и защитившие все индивидуальные задания, выданные на практических занятиях.

Предоставление и защита курсовой работы является обязательным условием допуска к экзамену

### 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;
- 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  |
|--|--|--|-------------|---|
| <b>6.1.1 Основная учебная литература</b>               |  |  |             |   |
| Алексеев, Е. В.,<br>Викулина, В. Б.,<br>Викулин, П. Д. | Моделирование систем водоснабжения и водоотведения                                     | Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ | 2015        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/40194.html">http://www.iprbookshop.ru/40194.html</a>   |
| Закгейм, А. Ю.   | Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов | Москва: Логос  | 2014        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/66419.html">http://www.iprbookshop.ru/66419.html</a>   |
| Бусыгин Н. Ю.  | Моделирование процессов защиты окружающей среды  | СПб.: СПбГУПТД   | 2019        | <a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019174">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019174</a> |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>         |  |  |             |   |
| Бусыгин Н. Ю.  | Моделирование процессов защиты окружающей среды. Курсовая работа                       | СПб.: СПбГУПТД   | 2016        | <a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=3432">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=3432</a>       |

|                             |  |                |      |   |
|-----------------------------|--|----------------|------|---|
| Бусыгин Н. Ю.               | Моделирование процессов защиты окружающей среды. Контрольная работа                              | СПб.: СПбГУПТД | 2019 | <a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019134">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019134</a> |
| Бусыгин Н. Ю.               | Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии. Решение задач в среде Mathcad          | СПб.: СПбГУПТД | 2014 | <a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2178">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2178</a>       |
| Бусыгин Н. Ю., Багров И. В. | Автоматизированные расчеты химико-технологических систем. Интегральные и декомпозиционные методы | СПб.: СПбГУПТД | 2015 | <a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2493">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2493</a>       |

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

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

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](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
- 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 |