

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор, проректор по  
УР

\_\_\_\_\_ А.Е. Рудин

« 29 » июня 2021 года

## Рабочая программа дисциплины

**Б1.О.17**

Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии

Учебный план: ФГОС 3++20.03.01\_Техносферная безопасность №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 (курс для ЗАО)	Контактная работа Практ. занятия	Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
4	УП	34	71,75	2,25	Зачет, Курсовая работа
	РПД	34	71,75	2,25	
Итого	УП	34	71,75	2,25	
	РПД	34	71,75	2,25	

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

Составитель (и):

кандидат технических наук, Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

Бусыгин Николай

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 и закрепить компетенции обучающегося в области использования современных специализированных программных продуктов и информационных технологий для решения конкретных прикладных задач в профессиональной сфере.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- раскрыть принципы построения специализированных баз данных (БД) как основы информационного обеспечения для автоматизированных расчетов в экологии и инженерной защите окружающей среды;
- закрепить навыки применения типового программного обеспечения компьютеров и прикладных пакетов в технических расчетах;
- показать приемы работы в математической среде Mathcad;
- обучить численным методам решения уравнений и систем уравнений разного типа и практическому применению этих знаний для решения конкретных задач по специальности.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Информационные технологии

Математика

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ОПК-1: Способен учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека;**

**Знать:** общие принципы и классификацию систем автоматизированного проектирования для различных областей техники; численные методы решения типовых уравнений и систем.

**Уметь:** использовать методы вычислительной математики для получения количественного результата при компьютерном моделировании; осуществлять постановку задачи решения уравнений и систем разного типа.

**Владеть:** навыками решения инженерных задач современными средствами пакета Mathcad; навыками численного решения уравнений и систем.

### 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	
		Пр. (часы)				
Раздел 1. Информационное и программное обеспечение автоматизированных технологических и проектных расчетов	4				3,Пр,О	
Тема 1. Специализированные базы данных в химической технологии и экологии и их использование в технических расчетах. Структура базы данных по физико-химическим свойствам веществ и смесей. СУБД и расчеты в ее среде. Использование библиотеки модулей расчета свойств в прикладных программах. Практическое занятие 1 "Банк данных по физико-химическим свойствам веществ и смесей и его использование в расчетах"		4	4	ИЛ		
Тема 2. Использование в расчетах прикладных программных продуктов общего назначения (на примере MS Excel). Встроенные средства решения уравнений и систем в MS Excel (подбор параметра, поиск решения, матричные вычисления). Практическое занятие 2 "Расширенные вычислительные возможности MS Excel"		4	4	ИЛ		
Тема 3. Системы для математических расчетов (на примере Mathcad). Рабочий лист. Вычислительные и текстовые блоки, программирование, символьные вычисления. Практическое занятие 3 "Основы работы в математической среде Mathcad".		4	4	ИЛ		
Раздел 2. Математическая постановка расчетных задач в химической технологии и экологии и программные средства для автоматизации решений уравнений и систем уравнений						
Тема 4. Задачи, приводящиеся к системам линейных алгебраических уравнений, и методы их решения. Стандартный вид системы линейных уравнений. Приведение сложной системы к стандартному виду. Матричный метод решения. Правило Крамера. Практическое занятие 4 "Решение систем линейных алгебраических уравнений"		4	12	ИЛ		3

Тема 5. Методы решения нелинейных алгебраических уравнений. Стандартный вид нелинейного алгебраического уравнения. Численные методы решения уравнений: деления отрезка пополам, итераций, секущих, касательных. Встроенные средства решения уравнений в Mathcad. Сравнение методов. Практическое занятие 5 "Решение систем нелинейных алгебраических уравнений"	8	18	ИЛ	
Тема 6. Подходы к решению систем нелинейных алгебраических уравнений. Стандартная запись системы уравнений. Итерационные методы решения. Встроенные средства решения систем уравнений в Mathcad. Практическое занятие 6 "Решение систем нелинейных алгебраических уравнений"	4	12	ИЛ	
Тема 7. Задачи, приводящиеся к системам дифференциальных уравнений. Формы результата численного решения. Методы решения на примере методов Эйлера и Рунге-Кутты разного порядка. Практическое занятие 7 "Системы дифференциальных уравнений и численные методы их решения"	6	17,75	ИЛ	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	34	71,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет, Курсовая работа)	2,25			
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>	<b>36,25</b>	<b>71,75</b>		

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта):** Целью курсовой работы является привитие студентам навыков самостоятельной работы по решению математических задач численными методами, а также по составлению технической документации. Эти навыки необходимы при освоении последующих дисциплин учебного плана, при выполнении выпускной квалификационной работы и в предстоящей практической деятельности по специальности.

Основной задачей курсовой работы является углубление и закрепление знаний по теоретической и практической частям дисциплины «Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии».

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** Тематика курсовой работы ориентирована на использование изученных численных методов для практического решения конкретной вычислительной задачи (выбор метода, выполнение необходимых преобразований, разработка программного обеспечения при решении нелинейных алгебраических уравнений и их систем или систем дифференциальных уравнений).

Теоретический материал по дисциплине и индивидуальные задания к курсовой работе приведены в учебном пособии сетевого распространения:

Бусыгин, Н. Ю. Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии. Решение задач в среде Mathcad: интерактивное учеб. пособие [Электр. издание] / Н. Ю. Бусыгин. – СПб.: СПГУТД, 2014. – 63,5 Мб.– Загл. с экрана. – Рег. № 0321400598 (Информрегистр). Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=2178](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=2178), по паролю; <http://eco.sutd.ru/mathcad/START.htm>, свободный доступ.

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

Курсовая работа состоит из расчётно-пояснительной записки объёмом до 15-20 страниц и включает краткое описание применяемых численных методов, необходимые математические преобразования исходных уравнений и систем, листинги разработанного программного и информационного обеспечения, текстовое, табличное и графическое представление результатов. Рекомендованные к использованию средства разработки программ – Borland Delphi, Mathcad и, если возможно, с приведением варианта решения задачи в MS Excel.

### 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
-----------------	--	----------------------------------

ОПК-1	<p>Грамотно оперирует базовыми понятиями построения современных автоматизированных расчетов общего и специализированного назначения; описывает подходы к решению линейных и нелинейных алгебраических уравнений и систем, систем дифференциальных уравнений, характеризует точность методов, условия их сходимости.</p> <p>Анализирует значение количественного описания процессов в инженерной деятельности; исходя из типа уравнений, выбирает численные методы решения, приводит уравнения к стандартному виду, определяет параметры выбранного метода.</p> <p>Применяет средства программного пакета Mathcad для решения инженерных задач в области оборудования и технологии; реализует на компьютере решение уравнений и систем в области энерго- и ресурсосбережения с применением соответствующих программ, анализирует результаты, оценивает точность решения.</p>	<p>Вопросы для устного собеседования</p> <p>Курсовая работа</p>
-------	---	---

### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)		<p>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, в том числе сверх оговоренных в задании; 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.</p>
4 (хорошо)		<p>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</p>
3 (удовлетворительно)		<p>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.</p>
2 (неудовлетворительно)		<p>Обучающимся представлена частично выполненная работа (решены не все задачи), при этом содержащая грубые ошибки, свидетельствующие о непонимании студентом разрабатываемой им темы.</p>
Зачтено	<p>Обучающийся своевременно выполнил индивидуальные задания на практических занятиях, представил результаты в виде рабочих листов</p>	

	Mathcad, защитил работы; в соответствии с требованиями выполнил и защитил курсовую работу по дисциплине, 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 в соответствии с требованиями не выполнил или не защитил курсовую работу по дисциплине, 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 4	
1	Специализированные информационные ресурсы для автоматизации расчетов в экологии и инженерной защите окружающей среды
2	Основные компоненты банка данных по физико-химическим свойствам веществ и смесей. Использование банка данных в расчетах.
3	MS Excel как средство создания и управления базами данных. Организация фильтрации данных.
4	MS Excel и особенности организации матричных операций.
5	Mathcad как специализированная среда для решения математических задач: обзор основных возможностей
6	Mathcad. Символьные вычисления. Вычисление интегралов, производных.
7	Mathcad. Основные операторы и их использование.
8	Mathcad. Представление данных в виде графиков разного типа.
9	Общее понятие о численных методах решения уравнений и систем уравнений, приближенный характер результата решения.
10	Системы линейных алгебраических уравнений. Запись системы в стандартной форме. Матричное представление системы.
11	Численные методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
12	Решение системы линейных алгебраических уравнений в матричной форме в Mathcad и MS Excel.
13	Понятие корня нелинейного алгебраического уравнения. Отличие точного решения и решения, полученного численным методом. Запись нелинейного алгебраического уравнения в стандартной форме.
14	Решение нелинейного алгебраического уравнений. Метод деления отрезка пополам.
15	Итерационные методы решения нелинейного алгебраического уравнений. Методы Ньютона, секущих, итераций. Условия сходимости методов.
16	Решение нелинейных алгебраических уравнений в MS Excel методом подбора параметров.
17	Методы решения систем нелинейных алгебраических уравнений.
18	Матричное представление системы нелинейных алгебраических уравнений. Решение подобных систем в Mathcad
19	Решение дифференциального уравнения и системы таких уравнений. Форма представления результата численного решения системы дифференциальных уравнений. Возможность аналитического решения в Mathcad.
20	Численные методы решения систем дифференциальных уравнений: сущность методов и сравнений точности решения. Реализация в Mathcad.
21	Численные методы решения систем дифференциальных уравнений: сущность методов и сравнений точности решения. Реализация в MS Excel.

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрены.

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

Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы) находятся в Приложении к данной РГД.

### 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 допускаются студенты, полностью выполнившие плановые практические задания и защитившие курсовую работу.

#### 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 ответов по вопросам составляет 15 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>				
Краюткина, Е. В.	Численные методы в научных расчетах	Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет	2019	<a href="http://www.iprbookshop.ru/99474.html">http://www.iprbookshop.ru/99474.html</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>
Зенков, А. В.	Численные методы	Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ	2016	<a href="http://www.iprbookshop.ru/68315.html">http://www.iprbookshop.ru/68315.html</a>
Мокрова, Н. В., Суркова, Л. Е.	Численные методы в инженерных расчетах	Саратов: Ай Пи Эр Медиа	2018	<a href="http://www.iprbookshop.ru/71739.html">http://www.iprbookshop.ru/71739.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Бусыгин Н. Ю.	Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии. Курсовая работа	СПб.: СПбГУПТД	2015	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2249">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2249</a>
Заусаев, А. Ф., Романюк, М. А.	Дискретные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений	Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ	2018	<a href="http://www.iprbookshop.ru/90484.html">http://www.iprbookshop.ru/90484.html</a>
Олегин, И. П., Красноруцкий, Д. А.	Введение в численные методы	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет	2018	<a href="http://www.iprbookshop.ru/91332.html">http://www.iprbookshop.ru/91332.html</a>
Алексеев, Г. В., Вороненко, Б. А., Гончаров, М. В., Холявин, И. И.	Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования	Саратов: Вузовское образование	2014	<a href="http://www.iprbookshop.ru/26229.html">http://www.iprbookshop.ru/26229.html</a>

### 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](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](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.

### 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

## Приложение

рабочей программы дисциплины «Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии»

по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»

наименование ОП (профиля): «Инженерная защита окружающей среды»

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

*Общая постановка задачи:* определить тип уравнений или системы уравнений, привести при необходимости к стандартному виду, выбрать численный метод решения, программный продукт для решения и найти это решение.

*Вариант 1.*

Решить систему линейных алгебраических уравнений теплового баланса относительно неизвестных температур  $t_{11}$ ,  $t_{12}$ ,  $t_1^k$ ,  $t_2^k$ ,  $t_{22}$ ,  $t_{23}$ .

$$\begin{cases} G_1 c_1 (t_1^0 - t_{11}) = K_1 \frac{F}{3} (t_{11} - t_2^k); \\ G_2 c_2 (t_2^k - t_{22}) = K_1 \frac{F}{3} (t_{11} - t_2^k); \\ G_2 c_2 (t_{11} - t_{12}) = K_2 \frac{F}{3} (t_{12} - t_{22}); \\ G_1 c_1 (t_{22} - t_{23}) = K_2 \frac{F}{3} (t_{12} - t_{22}); \\ G_1 c_1 (t_{12} - t_1^k) = K_3 \frac{F}{3} (t_1^k - t_{23}); \\ G_2 c_2 (t_{23} - t_2^0) = K_3 \frac{F}{3} (t_1^k - t_{23}). \end{cases}$$

Исходные данные для расчета:

$$G_1 = 2 \text{ кг/с}; G_2 = 4 \text{ кг/с}; c_1 = 3900 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}; c_2 = 2100 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)};$$

$$F = 24 \text{ м}^2; K_1 = 160; K_2 = 140; K_3 = 120; t_1^0 = 95^\circ\text{C}; t_2^0 = 15^\circ\text{C}.$$

Вариант 2.

Решить систему линейных алгебраических уравнений материального баланса относительно неизвестных расходов  $G_{ij}$

$$\begin{cases} G_{01} + G_{41} = G_{12}; \\ G_{12} + G_{52} = G_{23}; \\ G_{23} + G_{63} = G_{30}; \\ G_{04} = G_{41} + G_{45}; \\ G_{45} + G_{05} = G_{52} + G_{56}; \\ G_{56} = G_{63} + G_{60}; \\ G_{45} = 0.6G_{04}; \\ G_{52} = 0.3(G_{45} + G_{05}); \\ G_{60} = 0.9G_{56}. \end{cases}$$

Исходные данные для расчета:

$$G_{01} = 5000 \text{ кг/ч}; G_{04} = 4000 \text{ кг/ч}; G_{05} = 3000 \text{ кг/ч}.$$

Вариант 3.

Решить систему уравнений теплового и материального балансов относительно неизвестных расходов  $D, W_1, W_2, W_3$ :

$$Dr_1 = 1,03[G_H C_H (t_{\kappa 1} - t_H) + W_1(I_{\text{вн}1} - C_{\text{в}} t_{\kappa 1}) + Q_{\kappa 1}];$$

$$W_1 r_2 = 1,03[(G_H - W_1)C_1(t_{\kappa 2} - t_{\kappa 1}) + W_2(I_{\text{вн}2} - C_{\text{в}} t_{\kappa 2}) + Q_{\kappa 2}];$$

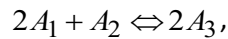
$$W_2 r_3 = 1,03[(G_H - W_1 - W_2)C_2(t_{\kappa 3} - t_{\kappa 2}) + W_3(I_{\text{вн}3} - C_{\text{в}} t_{\kappa 3}) + Q_{\kappa 3}];$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3.$$

Здесь  $r_1=2024500$  Дж/кг;  $r_2=2053550$  Дж/кг;  $r_3=2129900$  Дж/кг;

$G_H=11.12$  кг/с;  $W=9.72$  кг/с;  $t_H=168.3^\circ\text{C}$ ;  $t_{\kappa 1}=170.7^\circ\text{C}$ ;  $t_{\kappa 2}=146.7^\circ\text{C}$ ;  $t_{\kappa 3}=67.0^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{в}}=4180$  Дж/(кг·К);  $C_H=3900$  Дж/(кг·К);  $C_1=3770$  Дж/(кг·К);  $C_2=3561$  Дж/(кг·К);  $I_{\text{вн}1}=2210000$  Дж/кг;  $I_{\text{вн}2}=2180000$  Дж/кг;  $I_{\text{вн}3}=2116000$  Дж/кг;  $Q_{\kappa 1}=240$  Вт,  $Q_{\kappa 2}=220$  Вт,  $Q_{\kappa 3}=200$  Вт.

*Вариант 4.* В аппарате непрерывного действия с интенсивным перемешиванием протекает обратимая химическая реакция



где  $A_1, A_2, A_3$  – реагенты.

Время пребывания вещества в аппарате  $\tau$ . Если обозначить начальные концентрации компонентов как  $C_1^0, C_2^0, C_3^0$ , а конечные  $C_1^k, C_2^k, C_3^k$ , константы скорости прямой реакции  $k_1$ , обратной  $k_2$ , то для расчета конечных концентраций компонентов можно использовать соотношения:

$$\frac{C_2^k - C_2^0}{-1} = \frac{C_1^k - C_1^0}{-2};$$

$$\frac{C_3^k - C_3^0}{2} = \frac{C_1^k - C_1^0}{-2};$$

$$C_1^k - C_1^0 = \tau \left[ -2k_1 (C_1^k)^2 \cdot C_2^k + 2k_2 (C_3^k)^2 \right].$$

Если из первых двух уравнений выразить  $C_2^k$  и  $C_3^k$  через  $C_1^k$  и подставить полученные выражения в последнее соотношение, то оно превращается в нелинейное уравнение с неизвестной величиной  $C_1^k$ , решить которое можно численно.

Рассчитать конечные концентрации компонентов.

Исходные данные для контрольного расчета

$$\begin{aligned} C_1^0 &= 0,9; & C_2^0 &= 0,6; & C_3^0 &= 0; \\ k_1 &= 0,3; & k_2 &= 0,2; & \tau &= 6. \end{aligned}$$

*Вариант 5.* В некоторых технологических процессах перемещение жидкостей из одной емкости в другую производится перекачиванием сжатым воздухом (над поверхностью жидкости в исходном баке создается повышенное давление  $P_1$ , за счет чего производится переток жидкости, в том числе при наличии перепада высот  $H$  между баками).

Обычно при расчете определяют расход жидкости  $Q$  по формуле

$$Q = w\pi \cdot d^2 / 4,$$

где  $w$  – скорость жидкости, м/с;  $d$  – диаметр трубопровода, м.

Скорость  $w$  определяют решения уравнения

$$H + \frac{w^2}{2g} \left[ 1 + \lambda(w) \frac{L}{d} + \sum \xi \right] - \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g} = 0,$$

где  $L$  – длина трубопровода, м;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $P_1, P_2$  – давление в исходном и приемных баках, Па;  $\lambda(w)$  – коэффициент трения, который в некоторых режимах рассчитывается по формуле

$$\lambda = 0,11(k_9 / d + 68 / \text{Re})^{0,25}; \quad \text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu}.$$

Рассчитать расход  $Q$ .

Данные для контрольного расчета:

$$H = 13 \text{ м}; \quad L = 25 \text{ м}; \quad d = 0.057 \text{ м}; \quad \sum \xi = 8;$$
$$P_1 = 250000 \text{ Па}; \quad P_2 = 100000 \text{ Па}; \quad k_9 = 0,0001 \text{ м};$$
$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3; \quad \mu = 0,0011 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

*Вариант б\**. Интенсивность передачи тепла в теплообменных аппаратах характеризуется коэффициентом теплопередачи  $K$ :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где величины  $\alpha_1, \alpha_2$  называются коэффициентами теплоотдачи,  $\sum r_{cm}$  – сумма термических сопротивлений материала стенки и загрязнений на стенках. Коэффициенты теплоотдачи зависят от температуры стенки  $t_{cm}$ , величина которой обычно неизвестна, но может быть оценена из уравнения теплового баланса, записанного, например, в форме

$$\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 [t_1 - t_2 - \Delta t_1 (1 + \alpha_1 \sum r_{cm})] = 0.$$

В последнем уравнении  $t_1, t_2$  – средние температуры теплоносителей, °С,  $\Delta t_1$  – разность температур теплоносителя и стенки  $\Delta t_1 = t_1 - t_{cm}$ . Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$  определяется по уравнению

$$\alpha_1 = 2,044 \sqrt{\frac{\lambda_1^3 \rho_1^2 r}{\mu \Delta t_1 H}},$$

где  $H$  – высота трубок,  $\lambda_1, \rho_1, r, \mu_1$  – соответственно теплопроводность, плотность, теплота парообразования, динамическая вязкость воды и водяного пара, величины которых зависят от температуры  $t_1$  и могут быть рассчитаны по соответствующим функциям:

$$\lambda(t) = 0,5579 + 0,001804t;$$
$$\rho(t) = 1000 [1 - \beta(t) \cdot (t - 20)]; \quad \text{где } \beta(t) = 10^{-5} \cdot (1,40773 + 0,0613214t);$$
$$r(t) = 1000 \cdot e^{7,742 - 0,055 \ln\left(\frac{t}{101}\right)}; \quad \mu(t) = \frac{1,792 \cdot 10^{-3}}{1 + 0,037t + 0,000221t^2}.$$

Решить уравнение теплового баланса относительно  $\Delta t_1$ . Рассчитать и вывести в качестве результата также величины  $\alpha_1, K$ .

Для контрольного расчета использовать исходные данные

$$t_1 = 120; \quad t_2 = 20; \quad H = 3; \quad \alpha_2 = 85; \quad \sum r_{cm} = 0,0004.$$

*Вариант 7.*

Решить систему нелинейных алгебраических уравнений теплового баланса относительно неизвестных температур  $t_{11}, t_1^k, t_2^k, t_{21}$ .

$$\begin{aligned}G_1 [c_1(t_1^0) \cdot t_1^0 - c_1(t_{11}) \cdot t_{11}] &= K_1 \frac{F}{2} (t_{11} - t_{21}); \\G_2 [c_2(t_{21}) \cdot t_{21} - c_2(t_2^0) \cdot t_2^0] &= K_1 \frac{F}{2} (t_{11} - t_{21}); \\G_1 [c_1(t_{11}) \cdot t_{11} - c_1(t_1^k) \cdot t_1^k] &= K_2 \frac{F}{2} (t_1^k - t_2^k); \\G_2 [c_2(t_2^k) \cdot t_2^k - c_2(t_{21}) \cdot t_{21}] &= K_2 \frac{F}{2} (t_1^k - t_2^k)\end{aligned}$$

Удельная теплоемкость потоков нелинейно зависит от температуры. Пусть

$$\begin{aligned}c_1(T) &= 10910 - 85,316T + 0,2579T^2 - 22,495 \cdot 10^{-5}T^3; \\c_2(T) &= 4759 - 21,35T + 0,0424T^2.\end{aligned}$$

Здесь  $T$  – температура, К.

Исходные данные для расчета:

$$\begin{aligned}G_1 &= 2 \text{ кг/с}; G_2 = 4 \text{ кг/с}; t_1^0 = 95^\circ\text{C}; t_2^0 = 15^\circ\text{C}; F = 24 \text{ м}^2; \\K_1 &= 160 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}; K_2 = 140 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}.\end{aligned}$$

*Вариант 8.*

Решить систему нелинейных алгебраических уравнений относительно конечных концентраций компонентов сложной химической реакции, протекающей в реакторе идеального смешения:

$$\begin{aligned}C_1^k - C_1^0 &= \tau \cdot [-k_1 C_1^k C_2^k + k_2 (C_3^k)^2] \\C_2^k - C_2^0 &= C_1^k - C_1^0 \\C_3^k - C_3^0 &= \tau \cdot [2k_1 C_1^k C_2^k - 2k_2 (C_3^k)^2 - k_3 C_3^k + k_4 C_4^k (C_5^k)^2] \\C_4^k - C_4^0 &= \tau \cdot [k_3 C_3^k - k_4 C_4^k (C_5^k)^2] \\C_5^k - C_5^0 &= 2(C_4^k - C_4^0)\end{aligned}$$

Исходные данные для расчета:  $\tau = 5$ ;  $C^0 = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 0.6 \\ 0.2 \\ 0 \\ 0.4 \end{pmatrix}$ ;  $k = \begin{pmatrix} 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \\ 0.5 \end{pmatrix}$

*Вариант 9.* Изменение уровня  $h_1$  и  $h_2$  в двух последовательно соединенных проточных отстойниках во времени определяется уравнениями:

$$\frac{dh_1}{d\tau} = -\frac{K_1\sqrt{\rho gh_1}}{S_1};$$

$$\frac{dh_2}{d\tau} = \frac{K_1\sqrt{\rho gh_1} - K_2\sqrt{P_0 + \rho gh_2 - P_1}}{S_2};$$

Рассчитать профиль изменения уровней в диапазоне  $\tau$  от 0 до 100, если сечения аппаратов

$$S_1 = S_2 = 100 \text{ м}^2; K_1 = 0,01; K_2 = 0,02; \rho = 1000 \text{ кг/м}^3,$$

начальные уровни  $h_1 = 5 \text{ м}$ ,  $h_2 = 7 \text{ м}$ .

$$\tau_0 = 0; \tau_k = 100;$$

$$P_0 = 101300; P_1 = 70000 \text{ Па}.$$

Результаты вывести в виде таблицы и графика.

*Вариант 10\**. При моделировании неизотермического химического реактора учитывается изменение в ходе реакции концентраций компонентов  $C_i$  и температуры  $t$ , причем константы скоростей реакции  $k_j$  в свою очередь являются функциями температуры. Пусть изменение параметров описывается уравнениями:

$$\frac{dC_1}{d\tau} = -k_1 C_1 C_2^2;$$

$$\frac{dC_2}{d\tau} = -2k_1 C_1 C_2^2;$$

$$\frac{dC_3}{d\tau} = 2k_1 C_1 C_2^2;$$

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{dC_1}{d\tau} \cdot \frac{\Delta H}{C\rho} - \frac{KF(t - t_w)}{GCL};$$

$$k_1 = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}.$$

Решить систему уравнений на интервале  $[0, \tau_k]$ .

Исходные данные для контрольного расчета

$$k_0 = 0,5; E = 2000; R = 8,31; G = 2; \omega = 0,5; \Delta H = -100000;$$

$$C = 3900; \rho = 980; K = 220; F = 24; L = 3; t_w = 20; \tau_k = 3.$$

Начальные значения параметров (функций)

$$C_1^0 = 0,85; C_2^0 = 0,5; C_3^0 = 0; t^0 = 70.$$