

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт  
Кафедра «Машиностроение и материаловедение»

Утверждено на заседании кафедры  
«МиМ»  
«30» января 2023 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой

 А.В. Анцев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**  
**«Численное математическое моделирование процессов теплообмена»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы магистратуры**

по направлению подготовки  
**22.04.02 Metallurgy**

с направленностью (профилем)  
**Теоретические основы литейных процессов**

Форма обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 220402-02-22

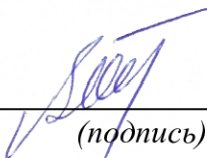
Тула 2023 год

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**  
**рабочей программы дисциплины (модуля)**

**Разработчик:**

Вальтер А.И., проф., д.т.н., доц.

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

## **1 Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)**

**Целью** освоения дисциплины (модуля) является формирование у студентов знаний о принципах формирования математических моделей процессов и объектов, как эффективного численного метода решения инженерных и физических задач в металлургии и привитие навыков по самостоятельному применению этих методов при решении различных задач.

**Задачами** освоения дисциплины (модуля) являются:

- изучение методов по созданию модельной системы поддержки принятия решений, в основе которой лежит математическая модель технологического процесса, позволяющая на основе расчетов прогнозировать ход и результат технологического процесса при изменяющихся условиях его проведения;
- получение знаний по созданию основных математических моделей;
- изучение методов обработки и анализа полученных данных, на основе применения современных программных продуктов для расчета процессов.

## **2 Место дисциплины (модуля) в структуре основной профессиональной образовательной программы**

Дисциплина (модуль) относится к части основной профессиональной образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Дисциплина (модуль) изучается в 3 семестре (очная форма обучения) и в 3 семестре (заочная форма обучения).

## **3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы (формируемыми компетенциями) и индикаторами их достижения, установленными в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы, приведён ниже.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:

### **Знать:**

- 1) типы конечных элементов и их характеристики (код компетенции – ПК-4, код индикатора – ПК-4.1).

### **Уметь:**

- 1) составлять физические и математические модели, описывающие реальные объекты; внедрять в производственных условиях системы расчетов на основе математического моделирования; основы составления вычислительных программ (код компетенции – ПК-4, код индикатора – ПК-4.2).

### **Владеть:**

- 1) методикой расчета дискретизированных конечно-элементных моделей теплопроводности в процессах литья с применением вычислительной техники (код компетенции – ПК-4, код индикатора – ПК-4.3).

Полные наименования компетенций и индикаторов их достижения представлены в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы.

## 4 Объем и содержание дисциплины (модуля)

### 4.1 Объем дисциплины (модуля), объем контактной и самостоятельной работы обучающегося при освоении дисциплины (модуля), формы промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Номер семестра	Формы промежуточной аттестации	Общий объем в зачетных единицах	Общий объем в академических часах	Объем контактной работы в академических часах						Объем самостоятельной работы в академических часах
				Лекционные занятия	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные работы	Клинические практические занятия	Консультации	Промежуточная аттестация	
Очная форма обучения										
3	КР, Э	4	144	12	24	12	–	3	0,5	92,5
Итого	–	4	144	12	24	12	–	3	0,5	92,5
Заочная форма обучения										
3	КР, Э	4	144	6	8	8	–	3	0,5	118,5
Итого	–	4	144	6	8	8	–	3	0,5	118,5

Условные сокращения: Э – экзамен, ЗЧ – зачет, ДЗ – дифференцированный зачет (зачет с оценкой), КП – защита курсового проекта, КР – защита курсовой работы.

### 4.2 Содержание лекционных занятий

#### Очная форма обучения

№ п/п	Темы лекционных занятий
<i>3 семестр</i>	
1	Системный анализ. Основные понятия и определения системного анализа. Внешние связи системы. Классификация систем по их свойствам.
2	Моделирование технологических процессов и объектов. Основные понятия и определения. Алгоритм создания модели. Структурный подход для построения математических моделей. Использование структурного подхода для составления моделей на молекулярном уровне. Описание стехиометрии системы химических реакций. Метод направленных графов. Матричный метод. Моделирование равновесия в системах химических реакций
3	Моделирование кинетики химических реакций. Скорость сложной химической реакции. Интегрирование уравнений кинетики. Численные методы интегрирования. Химические реакции в потоке вещества. Моделирование явлений тепло- и массопереноса. Моделирование тепловых явлений.
4	Математические методы оптимизации технологических систем. Методы построения обобщенных критериев оптимальности. Классификация оптимизационных задач. Аналитические методы решения оптимизационных задач.
5	Поисковые (численные) методы решения однофакторных оптимизационных задач. Поисковые методы решения многофакторных оптимизационных задач. Метод координатного спуска. Градиентные методы.

№ п/п	Темы лекционных занятий
6	Симплексные методы. Экспериментальные методы оптимизации. Методы линейного программирования. Решение задач линейного программирования.

### Заочная форма обучения

№ п/п	Темы лекционных занятий
<i>3 семестр</i>	
1	Моделирование технологических процессов и объектов. Основные понятия и определения. Алгоритм создания модели. Структурный подход для построения математических моделей. Использование структурного подхода для составления моделей на молекулярном уровне. Описание стехиометрии системы химических реакций. Метод направленных графов. Матричный метод. Моделирование равновесия в системах химических реакций
2	Моделирование кинетики химических реакций. Скорость сложной химической реакции. Интегрирование уравнений кинетики. Численные методы интегрирования. Химические реакции в потоке вещества. Моделирование явлений тепло- и массопереноса. Моделирование тепловых явлений.
3	Математические методы оптимизации технологических систем. Методы построения обобщенных критериев оптимальности. Классификация оптимизационных задач. Аналитические методы решения оптимизационных задач.

### 4.3 Содержание практических (семинарских) занятий

#### Очная форма обучения

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
<i>3 семестр</i>	
1	Виды математических моделей потоков теплоносителей
2	Расчет зоны теплообмена в теплообменнике
3	Модель теплообмена в кожухотрубчатых, змеевиковых, спиральных и пластинчатых теплообменников
4	Основные динамические характеристики теплообменников
5	Статистические модели, характеризующие стационарные режимы работы теплообменников
6	Критерий оптимальности в задачах теплообмена
7	Оптимальный расчет теплообменного аппарата
8	Стандартные параметры теплоносителей
9	Уравнение теплового баланса для теплообменника
10	Диффузионная модель гидродинамической структуры тепловых потоков
11	Численные методы решения тепловых задач

#### Заочная форма обучения

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
<i>3 семестр</i>	
1	Виды математических моделей потоков теплоносителей
2	Расчет зоны теплообмена в теплообменнике

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
3	Модель теплообмена в кожухотрубчатых, змеевиковых, спиральных и пластинчатых теплообменников
4	Основные динамические характеристики теплообменников

#### 4.4 Содержание лабораторных работ

##### Очная форма обучения

№ п/п	Наименования лабораторных работ
<i>3 семестр</i>	
1	Исследование сходимости разностных схем для многомерного уравнения теплопроводности
2	Процессы излучения и конвекции в задачах теплообмена
3	Модельные представления неидеального контакта многослойных конструкций
4	Моделирование задач плавления
5	Моделирование стационарного процесса теплопроводности стержня
6	Приближенное решение краевой задачи методом конечных разностей

##### Заочная форма обучения

№ п/п	Наименования лабораторных работ
<i>3 семестр</i>	
1	Модельные представления неидеального контакта многослойных конструкций
2	Моделирование задач плавления
3	Моделирование стационарного процесса теплопроводности стержня
4	Приближенное решение краевой задачи методом конечных разностей

#### 4.5 Содержание клинических практических занятий

Занятия указанного типа не предусмотрены основной профессиональной образовательной программой.

#### 4.6 Содержание самостоятельной работы обучающегося

##### Очная форма обучения

№ п/п	Виды и формы самостоятельной работы
<i>3 семестр</i>	
1	Подготовка к лабораторным работам
2	Подготовка к практическим (семинарским) занятиям
3	Самостоятельное изучение тем:
	Математические методы оптимизации технологических систем. Поисковые (численные) методы решения однофакторных оптимизационных задач.
4	Выполнение курсовой работы
5	Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение

### Заочная форма обучения

№ п/п	Виды и формы самостоятельной работы
<i>3 семестр</i>	
1	Подготовка к лабораторным работам
2	Подготовка к практическим (семинарским) занятиям
3	Самостоятельное изучение тем:
	Математические методы оптимизации технологических систем. Поисковые (численные) методы решения однофакторных оптимизационных задач. Симплексные методы. Экспериментальные методы оптимизации. Методы линейного программирования. Решение задач линейного программирования.
4	Выполнение курсовой работы
5	Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение

### 5 Система формирования оценки результатов обучения по дисциплине (модулю) в рамках текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося

#### Очная форма обучения

Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося			Максимальное количество баллов
<i>3 семестр</i>			
Текущий контроль успеваемости	Первый рубежный контроль	<b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b>	
		Посещение лекционных занятий	2
		Работа на практических (семинарских) занятиях	12
		Выполнение лабораторной работы №1	2
		Выполнение лабораторной работы №2	2
		Выполнение лабораторной работы №3	2
		Контрольные мероприятия	10
		Итого	30
	Второй рубежный контроль	<b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b>	
		Посещение лекционных занятий	2
		Работа на практических (семинарских) занятиях	12
		Выполнение лабораторной работы №4	2
		Выполнение лабораторной работы №5	2
		Выполнение лабораторной работы №6	2
		Контрольные мероприятия	10
		Итого	30
Промежуточная аттестация	Экзамен		40 (100*)
	Защита курсовой работы		100

\* В случае отказа обучающегося от результатов текущего контроля успеваемости

### Заочная форма обучения

Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося		Максимальное количество баллов
<i>3 семестр</i>		
Текущий контроль успеваемости	<b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b>	
	Посещение лекционных занятий	10
	Работа на практических (семинарских) занятиях	30
	Выполнение лабораторной работы №1	5
	Выполнение лабораторной работы №2	5
	Выполнение лабораторной работы №3	5
	Выполнение лабораторной работы №4	5
	Итого	60
Промежуточная аттестация	Экзамен	40 (100*)
	Защита курсовой работы	100

\* В случае отказа обучающегося от результатов текущего контроля успеваемости

### Шкала соответствия оценок в стобалльной и академической системах оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Система оценивания результатов обучения	Оценки			
Стобалльная система оценивания	0 – 39	40 – 60	61 – 80	81 – 100
Академическая система оценивания (экзамен, дифференцированный зачет, защита курсового проекта, защита курсовой работы)	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Академическая система оценивания (зачет)	Не зачтено	Зачтено		

### 6 Описание материально-технической базы (включая оборудование и технические средства обучения), необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) требуется аудитория, оснащенная видеопроектором, настенным экраном, ноутбуком. Для проведения практических и лабораторных занятий компьютерный класс должен быть оснащен программным обеспечением, содержащим текстовые, графические редакторы, а также средами программирования.

### 7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

#### 7.1 Основная литература

1. Моделирование процессов и объектов в металлургии [Электронный ресурс]: методические указания к практическим занятиям для студентов 4 курса очной формы обучения специальности 110600 «Обработка металлов давлением»/ – Электрон. текстовые данные.–



Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018.– 14 с.– Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17709>.– ЭБС «IPRbooks», по паролю.

2. Аверченков В.И. Основы математического моделирования технических систем [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Аверченков В.И., Федоров В.П., Хейфец М.Л. – Электрон. текстовые данные.– Брянск: Брянский государственный технический университет, 2017.– 271 с.– Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7003>.– ЭБС «IPRbooks», по паролю.

## **7.2 Дополнительная литература**

1. Вальтер А.И. Метод конечных элементов в алгоритмах и программах. Учеб. пособ. / Вальтер А.И., Дорохин Н.Б. – Тула, Изд-во ТулГУ, 2001. – 156 с. Библиогр. В конце кн. – ISBN 5-7679-0144-9.

2. Чигарев А.В. ANSIS для инженеров : Справочное пособие / Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с. : ил. Библиогр. в конце кн. – ISBN 5-94275-048-3 в пер.

3. Известия ТулГУ, серии «Технические науки», «Актуальные вопросы механики», «Геодинамика, Математика, Термодинамика, Геоэкология, Физика», 2007, вып.2, 342 с. ISSN 0234-4234.

## **8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <https://tsutula.bibliotech.ru> – электронный читальный зал "БИБЛИОТЕХ": учебники авторов ТулГУ по всем дисциплинам.

2. <http://www.iprbookshop.ru> – ЭБС IPRBooks универсальная базовая коллекция изданий.

3. <http://biblio-online.ru> – ЭБС Biblio-online.ru (ЭБС Издательства «Юрайт»).

4. <http://elibrary.ru> – НЭБ eLibrary – библиотека электронной периодики.

5. <http://cyberleninka.ru> – НЭБ КиберЛенинка научная электронная библиотека открытого доступа.

6. <http://window.edu.ru> – единое окно доступа к образовательным ресурсам: портал.

7. <http://gostexpert.ru> – Гост Эксперт. Единая база ГОСТов РФ.

8. <http://www.tehlit.ru> – ТехЛит.ру. Техническая литература.

9. <http://www2.viniti.ru> – Реферативный журнал ВИНТИ в электронной форме.

## **9 Перечень информационных технологий, необходимых для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

### **9.1 Перечень необходимого ежегодно обновляемого лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства**

1. Пакет офисных приложений «МойОфис».

2. Среда программирования Free Pascal Lazarus.

3. Графический редактор PAINT.

4. Проигрыватель Windows Media.

## **9.2 Перечень необходимых современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Гост Эксперт. Единая база ГОСТов РФ. [*Электронный ресурс*]. – Режим доступа: <http://gostexpert.ru/свободный>. – Загл. с экрана.