

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор

А.А. Каракозов

(подпись)

«31» 03 2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.01 Моделирование теплотехнических процессов в стандартных инженерных пакетах

(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки:

22.04.02 «Металлургия»

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность (профиль):

Промышленная теплотехника
Металлургия чугуна

(наименование профиля / магистерской программы / специализации)

Программа:

магистратура

(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Форма обучения:

очная, заочная

(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения:	Очная	Заочная
Семестр(ы)	4	4
Общая трудоёмкость в з.е/часах	5.0/180	5.0/180
Контактная работа (час.), в том числе:	68	14
лекции	32	4
лабораторные работы	-	-
практические (семинарские) занятия	32	4
Самостоятельная работа (час.), в том числе:	76	130
курсовой проект (работа) (семестр/час.)	-	-
Контроль (экзамен, час./зачёт)	Экзамен, 36	Экзамен, 36

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «Моделирование теплотехнических агрегатов в стандартных инженерных пакетах» составлена в соответствии с учебными планами по направлению подготовки 22.04.02 «Металлургия», направленность (профиль): «Промышленная теплотехника» для 2023 года приёма по очной и заочной формам обучения.

Составитель:

Доцент кафедры
«Техническая теплофизика»,
к.т.н., доцент


(подпись)

Гнителиев П.А.
(Ф.И.О.)

Рабочая программа рассмотрена и принята на заседании кафедры
«Техническая теплофизика»

Протокол от «10» марта 2023 года № 12

/Заведующий кафедрой


(подпись)

А.Б. Бирюков
(Ф.И.О.)

Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией ГОУВПО
«ДОННТУ» по направлению подготовки 22.03.02 «Металлургия»

Протокол от «29» марта 2023 года № 2

Председатель


(подпись)

Снитко С.А.
(Ф.И.О.)

Рабочая программа продлена для 20__ года приема на заседании кафедры
«Техническая теплофизика»

Протокол от «____» _____ 20__ года № ____

Заведующий кафедрой

(подпись)

А.Б. Бирюков
(Ф.И.О.)

1 ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина рассматривает вопросы устройства теплотехнических агрегатов, моделирования их работы в инженерных пакетах.

Целью преподавания дисциплины является: ознакомление магистрантов с понятием инженерного пакета и его роли при моделировании теплотехнических процессов; отработка навыков использования инженерного пакета при моделировании процессов в теплотехнических агрегатах для повышения их энергоэффективности; о возможных способах оптимизации работы теплотехнического оборудования при помощи математического моделирования работы конкретных агрегатов.

В результате освоения дисциплины студент должен
знать направленность инженерных пакетов, как средство моделирования теплотехнологических процессов; общие принципы построения математических моделей; системный метод анализа технологических процессов; современные методы моделирования технологических процессов; методы оптимизации технологических процессов;
уметь применять основные положения системного метода для анализа и математического описания технологического процесса; правильно выбирать тот или иной метод моделирования в конкретных условиях; производить анализ модели с целью оптимизации параметров исследуемого процесса; применять методы моделирования для описания закономерностей технологических процессов;
владеть методиками идентификации математических моделей технологических процессов тепловой обработки материалов; навыками математического моделирования технологического процесса нагрева металла в проходных печах; методиками идентификации параметров математических моделей технологических процессов тепловой обработки металлов; навыками имитационного моделирования процесса нагрева металла в методической печи.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования следующих компетенций:

ПК-1 - Способен разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования тепловой обработки материалов.

ПК-2 - Способен разрабатывать предложения по повышению качества заданного вида металлопродукции при его тепловой обработке.

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений) Блока 1 дисциплин (модулей) учебного плана.

Базируется на знаниях, умениях и навыках, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: Оптимизация энергозатрат в металлургических технологиях, Методы экспериментального исследования теплотехнологических процессов.

Знания, умения и навыки, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при прохождении учебной или производственной практики, прохождении государственной итоговой аттестации.

3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

Наименование темы (содержательных модулей)	Количество часов (очная/заочная форма)				
	Всего	В том числе			
		Лекции	Лабор	Практ. (Семина.).	СР
Тема 1. Введение. Основные понятия и определения моделирования.	22/21	5/0	0/0	5/0	12/21
Тема 2. Основные понятия стохастического моделирования.	22/21	5/0	0/0	5/0	12/21
Тема 3. Математические модели теплофизики металлургических процессов с детерминированными структурами.	23/26	5/2	0/0	5/2	13/22
Тема 4. Основы теории подобия и моделирования в металлургии.	23/26	5/2	0/0	5/2	13/22
Тема 5. Вычислительный эксперимент в задачах тепломассопереноса.	25/22	6/0	0/0	6/0	13/22
Тема 6. Постановка и классификация задач условной оптимизации.	25/22	6/0	0/0	6/0	13/22
Контактная работа (дополнительная)	4/6				
Курсовая работа (проект)	0/0				0/0
Итого по видам занятий	144/144	32/4	0/0	32/4	76/130
Контроль	36/36				
ИТОГО:	180/180	32/4	0/0	32/4	76/130

Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на формирование компетенции
ПК-1	Темы 1-3
ПК-2	Темы 4-6

3.2 Лекции

Тема 1. Введение. Основные понятия и определения моделирования.

Содержание темы 1:

Введение в предмет. Объекты математического моделирования в металлургии. Классификация моделей. Классификация математических моделей. Этапы разработки математических моделей.

Литература к теме 1: [1, 2, 3]

Тема 2. Основные понятия стохастического моделирования.

Содержание темы 2:

Моделирование в условиях неопределенности. Функция распределения и плотность распределения случайной величины. Меры положения и рассеяния кривой распределения. Теоретические законы распределения. Начальные и центральные моменты. Квантили распределения. Интервальные оценки истинного значения. Представление параметров распределения. Основы корреляционного и регрессионного анализа.

Литература к теме 2: [1, 2, 3]

Тема 3. Математические модели теплофизики металлургических процессов с детерминированными структурами.

Содержание темы 3:

Законы конвективного теплообмена. Уравнения конвективного теплообмена. Приближение Буссинеска в задачах свободной тепловой конвекции. Постановка задачи тепловой конвекции. Постановка краевой задачи теплопроводности. Безразмерная формулировка краевой задачи теплопроводности. Стационарная теплопроводность плоского слоя. Метод регулярного теплового режима расчета нагрева (охлаждения) тел. Теплопроводность при плавлении-затвердевании металла. Метод сквозного счета в задачах теплопроводности при структурных и фазовых переходах. Приближенный учет конвекции жидкого ядра кристаллизующегося слитка. Законы теплообмена излучением. Эффективное излучение. Экранирование как способ защиты от теплового излучения. Сложный (радиационно-конвективный) теплообмен.

Литература к теме 3: [1, 2, 3]

Тема 4. Основы теории подобия и моделирования в металлургии.

Содержание темы 4:

Подобие физических явлений. Числа подобия в задачах тепломассопереноса. Теплообмен при вынужденном движении теплоносителя в каналах. Теплообмен при свободной конвекции в неограниченном объеме. Теплообмен при свободной конвекции в ограниченном объеме.

Литература к теме 4: [1, 2, 3]

Тема 5. Вычислительный эксперимент в задачах тепломассопереноса.

Содержание темы 5:

Основы метода сеток. Схемы аппроксимации уравнения теплопроводности. Анализ ошибок. Способы аппроксимации конвективных членов. Аппроксимация граничных условий. Методы решения сеточных уравнений. Алгоритм решения сопряженных уравнений теплообмена.

Литература к теме 5: [1, 2, 3]

Тема 6. Постановка и классификация задач условной оптимизации.

Содержание темы 6:

Понятие о задаче условной оптимизации. Классификация задач оптимизации. Понятие о численных методах оптимизации. Условия оптимальности в общей задаче оптимизации.

Литература к теме 6: [1, 2, 3]

3.3 Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Тема занятия	Объем, час. очн/заочн	Лите- ратура
1	Статистическая обработка массива случайных данных.	2/1	[4, 5, 6]
2	Метод наименьших квадратов для уравнения линейной регрессии.	2/0	[4, 5, 6]
3	Метод прогонки решения сеточных уравнений.	2/0	[4, 5, 6]
4	Метод последовательной линейной верхней релаксации решения сеточных уравнений.	2/0	[4, 5, 6]
5	Расчет времени охлаждения плоского слоя.	2/0	[4, 5, 6]
6	Расчет времени охлаждения блюда.	2/1	[4, 5, 6]
7	Расчет времени затвердевания непрерывного плоского слитка (сляба).	2/1	[4, 5, 6]
8	Расчет времени затвердевания непрерывного слитка квадратного сечения (блюда).	2/1	[4, 5, 6]
9	Семинар «Интерполяционные и статистические методы обработки данных».	4/0	[4, 5, 6]
10	Семинар «Понятие о численных методах решения алгебраических и дифуравнений».	4/0	[4, 5, 6]
11	Семинар «Численные методы безусловной оптимизации»	4/0	[4, 5, 6]
12	Семинар «Методы линейного программирования»	4/0	[4, 5, 6]
ИТОГО:		32/4	

3.4 Лабораторные работы

Не предусмотрено.

3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. очн/заочн
1	Изучение лекционного материала	38/61
2	Подготовка к практическим занятиям	38/60
3	Подготовка к лабораторным работам	0/0
4	Выполнение курсового проекта	0/0
5	Выполнение курсовой работы	0/0
6	Выполнение индивидуального задания	0/9
ИТОГО:		76/130

3.6 Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

Курсовой проект (работа) по дисциплине не предусмотрен.

По дисциплине предусмотрено 1 индивидуальное задание. Тематика индивидуальных заданий в виде рефератов по следующим основным темам:

1. Интерполяционные и статистические методы обработки данных.
2. Методы первичной обработки статистических данных.
3. Понятие о численных методах решения алгебраических и дифференциальных уравнений (методы половинного деления, метод итераций, метод Ньютона).
4. Понятие о численных методах решения алгебраических и дифференциальных уравнений (методы решения дифференциальных уравнений, методы Рунге-Кутты, методы прогноза и коррекции).
5. Методы одномерной безусловной оптимизации.
6. Методы многомерной безусловной оптимизации.
7. Постановка и свойства задач линейного программирования.
8. Симплекс-метод как метод линейного программирования.
9. Теория двойственности как метод линейного программирования.
10. Разработка моделей линейного программирования.
11. Транспортная задача как метод линейного программирования.
12. Оптимизация процессов методом линейного программирования.
13. Оптимизация дискретных систем. Целочисленное линейное программирование.
14. Оптимальное распределение потоков сырья, топлива между параллельно работающими тепловыми агрегатами.
15. Решение задач математического программирования методом штрафных функций.
16. Метод множителей Лагранжа.
17. Моделирование детерминированных процессов.
18. Стохастические модели.
19. Примеры оптимизационных задач в металлургической теплотехнике.
20. Методы идентификации математических моделей.
21. Организация вычислительного эксперимента.

Объем учебной нагрузки при выполнении индивидуального задания – 9 часов.

Рекомендуемый объем пояснительной записки по индивидуальному заданию – не более 12 страниц формата А4 (210×297 мм).

4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

Составляющая компетенции – полнота знаний

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны неполные, неточные и неаргументированные ответы на вопросы. Допущено много грубых ошибок. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;
- средний уровень: даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

Составляющая компетенции – умения

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;
- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу. Не ориентируется в специальной научной литературе;
- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе;
- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;

- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;
- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой опыт.

Составляющая компетенции – владение навыками

- нулевой уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Не может выполнить задания;
- минимальный уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- пороговый уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач на пороговом уровне. Задания выполняет медленно и некачественно;
- средний уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач. Задания выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- продвинутый уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, иногда допуская незначительные погрешности;
- высокий уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, при необходимости демонстрируя творческий подход.

Обобщенная оценка сформированности компетенций

- нулевой уровень: на нулевом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- минимальный уровень: на минимальном уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- пороговый уровень: на пороговом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- средний уровень: на среднем уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- продвинутый уровень: на продвинутом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на высоком уровне;
- высокий уровень: на высоком уровне сформированы все составляющие компетенций.

4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета

1. Что такое модель и моделирование? По каким классификационным признакам можно различать модели и какие существуют типы моделирования?
2. Назовите характерные особенности аналоговых моделей. Что такое когнитивная модель, содержательная модель?
3. Каковы особенности детерминированного и неопределенного моделирования? Перечислите этапы построения математических моделей.

4. Сформулируйте основные причины появления неопределенностей. Какие из них являются субъективными, а какие – объективными?

5. Как описывается неопределенность математически? Приведите примеры математического описания неопределенностей в металлургии.

6. Когда в задаче математического моделирования применяется стохастическое описание переменных?

7. Дайте определение функции и плотности распределения.

8. Меры положения и рассеяния кривой распределения. Объясните различие между модой, медианой и математическим ожиданием.

9. Что характеризуют дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент корреляции?

10. Дайте характеристики законам распределения: нормальному, экспоненциальному, равномерному. Что характеризуют начальный и центральные моменты?

11. Дайте определение понятию квантили распределения. Что характеризуют интервальные оценки, доверительные интервал и вероятность.

12. Что такое ошибки диагностирования первого и второго рода, их значение.

13. Опишите способы представления параметров распределения: эмпирическая функция распределения, полигон частот, гистограмма частот.

14. Что такое корреляционное поле, линии регрессии? Опишите суть метода наименьших квадратов для получения уравнения линейной регрессии.

15. Что такое коэффициент корреляции, его смысл.

16. Дифференциальное уравнение неразрывности, уравнение несжимаемости, опишите их физический смысл.

17. Дифференциальное уравнение переноса энергии, опишите его физический смысл.

18. Дифференциальное уравнение движения вязкого теплоносителя, опишите его физический смысл.

19. Опишите дифференциальное уравнение теплоотдачи в пограничном слое.

20. Приведите условия однозначности в задачах конвективного теплообмена, виды граничных условий для скорости.

21. Какие уравнения включает постановка краевой задачи тепловой конвекции в динамических переменных?

22. Завихренность, функция тока теплоносителя, их размерности, физический смысл. Дифференциальное уравнение переноса завихренности.

23. Дифференциальное уравнение теплопроводности, его физический смысл. Как учитываются в уравнении теплопроводности неоднородные свойства? Как учитываются в уравнении теплопроводности анизотропия свойств?

24. Как задаются граничные условия теплообмена первого, второго и третьего видов? Физический смысл коэффициента теплоотдачи. Приведите граничные условия контактного теплообмена (четвертого вида). Смысл и размерность теплового сопротивления контакта.

25. Опишите что такое теплопроводность плоского слоя, а также как определить расхода тепла. Что из себя представляет из себя безразмерная формулировка краевой задачи теплопроводности. Числа Био и Фурье, их физический смысл.

26. Особенности теплопроводности при фазовых и структурных переходах в металле.

27. Математическая формулировка задачи теплопроводности с подвижной границей фазового перехода. Какова методика сквозного счета в задачах теплопроводности со структурными и фазовыми переходами?

28. Приведите вид функции относительного содержания твердой фазы в задачах с фазовым переходом. Как приближенно учесть конвекцию жидкого ядра кристаллизующегося слитка в задачах теплопроводности? Приведите характеристики теплового излучения.

29. Продемонстрируйте, как рассчитывается теплообмен излучением между бесконечными пластинами. Что такое приведенная степень черноты.

30. Продемонстрируйте, как рассчитывается теплообмен излучением между телами, когда одно тело находится внутри другого.

31. Что такое сложный (радиационно-конвективный) теплообмен? Как определяется коэффициент теплоотдачи, учитывающий излучение?

32. Какие процессы называются подобными, чем они отличаются от аналогичных процессов? Каково содержание трех теорем подобия?

33. Почему краевые задачи конвективного теплообмена формулируют в безразмерном виде? Как определяются средняя температура и скорость теплоносителя?

34. До какого числа Рейнольдса поток теплоносителя не может переходить из ламинарного в турбулентный режим?

35. Каковы закономерности теплоотдачи при свободном движении теплоносителя в неограниченном объеме и в ограниченном объеме? Приведите как вычисляется коэффициент конвекции.

36. Опишите основы метода сеток. Запись первой и второй производных с первым и вторым порядками точности.

37. Приведите явную и неявную схемы аппроксимации уравнения переноса энергии, а также схемы аппроксимации первого и второго порядков точности для уравнения теплопроводности?

38. Дайте сравнительную характеристика ошибок округления, аппроксимации и схемных ошибок в вычислительном эксперименте. Как оценить погрешность в вычислительном эксперименте? От чего зависит схемная ошибка консервативности в уравнении переноса?

39. Каковы условия существования схемной ошибки искусственной диффузии, как она проявляется в численном решении?

40. Причины возникновения и проявление схемной ошибки транспортности.

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»

Программа:	<u>Магистратура</u> (бакалавриат, специалитет, магистратура)
Направление подготовки (специальность):	<u>22.04.02 Металлургия</u> (код, название)
Профиль (магистерская программа, специализация):	<u>Промышленная теплотехника</u> (название)
Семестр:	<u>4</u>
Учебная дисциплина:	<u>Моделирование теплотехнических агрегатов в стандартных инженерных пакетах</u>

БИЛЕТ № 1

1. Математическая формулировка задачи теплопроводности с подвижной границей фазового перехода. Какова методика сквозного счета в задачах теплопроводности со структурными и фазовыми переходами?
2. Дифференциальное уравнение переноса энергии, опишите его физический смысл.
3. Дайте определение функции и плотности распределения.

Утверждено на заседании кафедры	<u>Техническая теплофизика</u>		
Протокол	№	от	г.
Зав. кафедрой	<u>Бирюков А.Б.</u> (подпись) (Ф.И.О.)		
Экзаменатор	<u>Гнитиёв П.А.</u> (подпись) (Ф.И.О.)		

4.3 Критерии оценивания

Каждому заданию в экзаменационном билете (как теоретическим вопросам, так и задачам) присваивается весовой коэффициент. Сумма весовых коэффициентов по всем заданиям билета равна 1. Ответ на каждое задание оценивается по 100-бальной шкале.

В случае теоретического задания оценка «100» ставится в случае полного системного раскрытия вопроса без каких-либо неточностей. Баллы снимаются, если в ответе упущены какие-либо второстепенные моменты (до 10 баллов), допущены несущественные неточности (до 10 баллов), допущены существенные неточности при правильном ответе в целом (до 25 баллов), при недостаточном представлении материалов (баллы снимаются как процент недостающего материала с учетом его значимости).

В случае задачи оценка «100» ставится в случае представления полного решения с правильным ходом и точным ответом, при верном указании единиц измерения всех физических величин и выполненном полном анализе результатов (если требуется). Баллы снимаются, если в решении есть несущественные неточности, не повлиявшие на результат (до 15 баллов), неверно указаны или не указаны единицы измерения физических величин (до 15 баллов), допущены отдельные неточности в ходе решения, не искажившие ход решения в целом (до 25 баллов), неточность численных результатов (до 15 баллов), ошибки в анализе результатов (до 20 баллов).

Итоговая оценка за экзамен рассчитывается как сумма произведений оценок за каждое задание на их весовой коэффициент.

Пример расчета итоговой оценки по экзамену.

В билете имеется три задания с весовыми коэффициентами 0,3, 0,35 и 0,35. Пусть оценки за каждое задание по 100-балльной шкале составили: 90, 70 и 85 соответственно. Тогда итоговая оценка за билет составляет: $0,3 \cdot 90 + 0,35 \cdot 70 + 0,35 \cdot 85 = 81,25 \approx 81$ балл.

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по национальной шкале и шкале ECTS.

Текущий контроль знаний студентов производится по результатам практических (семинарских) занятий, индивидуального задания, во время контрольных опросов в ходе проведения занятий.

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS:

Сумма баллов по 100-балльной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично / зачтено
80-89	B	Хорошо / зачтено
75-79	C	
70-74	D	Удовлетворительно / зачтено
60-69	E	
35-59	FX	Неудовлетворительно / не зачтено
0-34	F*	

* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

4.4 Пример текущего опроса на практических (семинарских) занятиях и лабораторных работах

1. Каковы способы аппроксимации конвективных членов уравнения переноса? Дайте определение понятию о нейтральных разностных схемах.

2. Приведите и объясните формулы аппроксимации граничных условий конвективного теплообмена первого и второго порядков точности.

3. Метод прогонки решения матричных уравнений, как способ векторно-матричного представления сеточных уравнений и реализация метода на компьютере.

4. Итерационный метод последовательной линейной верхней релаксации решения матричных уравнений, как способ векторно-матричного представления сеточных уравнений и реализация метода на компьютере.

5. Как организовать алгоритм решения сопряженных уравнений тепломассопереноса на компьютере?

4.5 Курсовое проектирование

Не предусмотрен.

5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I. Основная литература

1. Чельшков, П. Д. Моделирование инженерных систем и технологических процессов : учебное пособие / П. Д. Чельшков, А. В. Дорошенко, А. А. Волков. — Москва : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 64 с. — ISBN 978-5-7264-1753-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/76388.html>

II. Дополнительная литература

2. Технологические машины и оборудование. Моделирование и специализированные пакеты программ для их создания : учебное пособие / Г. В. Алексеев, Б. А. Вороненко, М. В. Гончаров, Е. С. Сергачева. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2019. — 308 с. — ISBN 978-5-4486-0474-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/80292.html>

6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методические издания, разработанные в ДОННТУ:

3. Кашаев, В.В. Конспект лекций по дисциплине «Моделирование теплотехнических агрегатов в стандартных инженерных пакетах» (для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 22.04.02 «Металлургия», магистерской программы «Промышленная теплотехника») / Кашаев В.В. – Донецк: ДОННТУ, 2019. – 55 с. (доступ через личный кабинет студента).

4. Кашаев, В.В. Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине «Моделирование теплотехнических агрегатов в стандартных инженерных пакетах» для студентов направления подготовки 22.04.02 «Металлургия», магистерской программы «Промышленная теплотехника» / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. технической теплофизики, сост. Кашаев В.В. – Донецк: ДОННТУ, 2019. – 47 с. (доступ через личный кабинет студента).

5. Кашаев, В.В. Методические указания к самостоятельной работе студентов по дисциплине «Моделирование теплотехнических агрегатов в стандартных инженерных пакетах» для студентов направления подготовки 22.04.02 «Металлургия», магистерской программы «Промышленная теплотехника» / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. технической теплофизики, сост. Кашаев В.В. – Донецк: ДОННТУ, 2019. – 11 с. (доступ через личный кабинет студента).

6. Кашаев, В.В. Методические указания к индивидуальным заданиям по дисциплине «Моделирование теплотехнических агрегатов в стандартных инженерных пакетах» для студентов очной и заочной формы обучения направления подготовки 22.04.02 «Металлургия», магистерской программы «Промышленная теплотехника» / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. технической теплофизики, сост. Кашаев В.В. – Донецк: ДОННТУ, 2019. – 16 с. (доступ через личный кабинет студента).

Электронно-информационные ресурсыЭБС ДОННТУ – <http://donntu.ru/library>ЭБС IPR SMART – <http://www.iprbookshop.ru>**7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Учебная аудитория №5.436 учебный корпус 5 для проведения занятий лекционного типа. (Мультимедийное оборудование: компьютер, операционная система Linux Ubuntu 16.04 (2016), LibreOffice 4.3.0 (2015), мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска аудиторная, парты, демонстрационные макеты, стенды и плакаты).

2. Учебная лаборатория №5.013 учебный корпус 5 для проведения проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. (Компьютер, операционная система Linux Ubuntu 16.04 (2016), LibreOffice 4.3.0 (2015); специализированная мебель: доска аудиторная, парты, стенды и плакаты. Лабораторная работа по определению конвективного теплообмена на поверхности горизонтальной трубы; лабораторная работа по изучению истечения газа низкого давления через отверстия и насадки; лабораторная работа по определению коэффициента теплопроводности разнородных металлов; лабораторная работа исследования теплопередачи при вынужденном движении воздуха в трубе; лабораторная работа по построению пьезометрической и напорной линии для трубопровода переменного сечения; лабораторная работа по определению потерь давления и трения на местных сопротивлениях; лабораторная работа исследования аэродинамики свободной струи; выставка лопаток паровых турбин; выставка огнеупорных изделий; нагревательные печи для исследования нестационарного теплового состояния различных тел; макеты металлургических печей с одной верхней горелкой; макеты теплоизоляции трубопроводов; макет камеры печи для исследования аэродинамической картины течения газов; физическая модель установки кипящего слоя; демонстрационный образец современной газовой горелки; макет зонтового отсоса; амперметры и другие приборы для измерения различных электрических параметров).

3. Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2,3 (Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС- Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 – общественная лицензия MPL 2.0/ Grub loader for ALT Linux - лицензия GNU LGPL v3/ Mozilla Firefox - лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) - лицензия GNU GPL.