

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ГГТУ им. П.О.Сухого

_____ А.А.Бойко

(подпись)

_____ 04.07. _____ 2019

(дата утверждения)

Регистрационный № УД_{-маг} 117 /уч.

**Численное моделирование технологических процессов в
сталеплавильном производстве**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной
дисциплине для специальности магистратуры

1-42 80 01 «Металлургия»

Учебная программа составлена на основе:
образовательного стандарта высшего образования второй ступени специальности 1-42 80 01 «Металлургия», рег. № ОСВО 1-42 80 01-2012; учебного плана второй ступени высшего образования специальности: 1-42 80 01 «Металлургия» №1 42-2-05/уч. от 05.01.2016.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Жаранов Виталий Александрович, старший преподаватель кафедры «Металлургия и технологии обработки материалов»

РЕЦЕНЗЕНТ:

Бардюгов Николай Николаевич, главный металлург открытого акционерного общества «СтанкоГомель»

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Металлургия и технологии обработки материалов» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»
(протокол № 6 от 02.05.2019);

Научно-методическим советом механико-технологического факультета учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»
(протокол № 6 от 21.05.2019); УД-057-18/уч.

Научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»
(протокол № 6 от 26.06.2019).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа дисциплины «Численное моделирование технологических процессов в сталеплавильном производстве» предназначена для выполнения учебных занятий с магистрантами специальности 1-42 80 01 «Металлургия».

Особенность изучения: дисциплина охватывает как обобщённую структуризацию методов моделирования технологических процессов, так и подробное изучение методик их реализации, включая анализ расчётных особенностей математического моделирования в виде инженерных подходов и численного моделирования (МКР, МКЭ, МГЭ).

Цель изучения дисциплины - дать магистрантам систематические знания в области методов и способов численного моделирования сложных задач прочности, теплообмена и термоупругости, познакомить с прикладным программным обеспечением и техническими средствами ускорения вычислений.

Изучение вопросов курса предполагает также глубокое понимание специфики создания цифровых моделей конструкций, методов, оборудования и технологий создания прототипов трёхмерных геометрических цифровых моделей. Также требуются базовые глубокие знания специфики сталеплавильного производства в различных масштабных вариациях и условиях работы предприятий полного металлургического цикла и мини-заводов.

Особенное внимание уделяется связи технологий численного моделирования с возможностями оптимизации процессов и конструкций, в том числе в результате проведения планирования вычислительных экспериментов на цифровых моделях прототипов технических систем и узлов.

Уровень навыков магистра профилизации «Производство новых конструкционных материалов» предполагает наличие знания статистического анализа и построения регрессионных моделей технологических процессов и анализа результатов на математических моделях, сформулированных численно в интегрированных пакетах конечно-элементных расчётов.

Следует также подчеркнуть особую актуальность компьютерных технологий проектирования в концепции жизненного цикла изделий и оборудования в металлургии.

Изучение данной дисциплины должно обеспечить новый навык проектирования и создания инженерных решений, отвечающих самым современным требованиям по безопасности, эффективности и минимизации стоимости реализации металлургических процессов.

Важной составляющей курса является понимание методов минимизации тепловых потерь технологического оборудования на этапе расплавления и выдержки металла в агрегатах плавки и внепечной обработки.

Магистр, в рамках освоения содержания данной дисциплины, должен

быть подготовлен к решению следующих задач профессиональной деятельности:

- применению современных методов проектирования технологических процессов в литейном и металлургическом производствах, оформление проектной документации;

- проведению комплексных структурированных научных исследований в области металлургического производства;

- разработке моделей исследуемых процессов, явлений и объектов (выбор или модификация существующих моделей);

- выборе методов и средств разработки инструментария эмпирического исследования, сбора, обработки, анализа, оценки и интерпретации полученных результатов исследования;

- использованию достижений науки и передовых технологий в области металлургии, литейного производства, обработки материалов давлением и термообработки сплавов черных и цветных металлов;

- разработке практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований, планированию и проведению экспериментальных исследований, а также разработке научно-технической документации.

Задачи дисциплины:

- овладение передовыми методами применения компьютерных технологий и перспективными процессами генерации моделей и деталей, в том числе готовых металлических изделий с уникальными характеристиками в области теплотехнических характеристик, формы и размеров единичных элементов конструкции;
- совершенствование навыков построения, коррекции и анализа геометрических моделей деталей и узлов;
- формирование глубоких компетенций в области оптимизации процессов компьютерного проектирования, сокращения интервалов разработки технологических процессов;
- формирование представлений об основных этапах решения задач проектирования технологической оснастки;
- умение пользоваться справочной литературой (включая интернет-ресурсы) и открытыми библиотеками патентной информации с целью совершенствования технологических процессов и оборудования в изучаемой предметной области;
- знать возможности программных пакетов, предназначенных для проектирования и анализа процессов металлургических процессов и литейных технологий.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных по курсам: математическое моделирование, общая металлургия, обработка металлов давлением и информационные технологии. Для освоения материалов курса магистранты должны досконально изучить номенклатуру специализированных программных продуктов, которые могут использоваться в замкнутом цикле цифрового производства.

Преподавание дисциплины нацелено на опережающую подготовку магистрантов к решению задач инновационного экономического развития отрасли. В основе применения технологии трехмерного моделирования лежит решение таких задач, важных для любого производства, как проектирование модели объекта с высокой точностью и контроль качества изделия.

Для эффективного использования моделей, которые получаются с помощью трехмерного сканирования, необходимо досконально знать и понимать, как работает соответствующее программное обеспечение.

Также ставится задача сформировать у обучаемых профессиональные компетенции по управлению процессами обеспечения качества продукции посредством масштабного внедрения современных технологий и оборудования и подготовить магистрантов к будущей профессиональной деятельности, на основе совокупности фундаментальных, общенаучных и специальных знаний.

В результате изучения учебной дисциплины «Компьютерные технологии проектирования литейных и металлургических процессов» магистрант должен

знать:

- теоретические фундаментальные основы компьютерного проектирования, методы расчёта систем, физико-химические процессы производства изделий методами, основанными на современных способах и принципах организации выпуска изделий на уровне передовых конкурентных разработок;
- методы проектирования технологических процессов и оснастки с применением современных инновационных разработок в области компьютерного моделирования и проектирования для получения отливок с необходимыми технологическими и эксплуатационными свойствами;
- последовательность и стадии разработки расчётных алгоритмов протекания химических реакций в металлургических и шлаковых расплавах;
- практические приёмы по оценке характера взаимодействия футеровки плавильных агрегатов с расплавами металлов и шлаков.

уметь:

- выбирать оптимальные способы и маршруты компьютерного проектирования деталей;
- применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач в области современных технологий;
- выполнять необходимые для реализации методов и технологий быстрого прототипирования вычисления с использованием компьютера и применять стандартные методы на практике;
- осуществлять обмен информацией между компьютерными системами и оборудованием для реализации технологий объёмной печати и вспомогательных процессов аддитивного производства;
- выполнять подготовку геометрических моделей для печати и анализа в

системах инженерной графики и анализа.

владеть:

- навыками для разработки практических рекомендаций по использованию научных исследований, планированию и проведению экспериментальных исследований;
- навыками исследования патентоспособности и показателей технического уровня разработок в области аддитивных технологий;
- основными приёмами обработки данных и моделей в технологиях прототипирования и изготовления деталей;
- навыками разработки научно-технической документации для подготовки производства изделий методами трёхмерной печати.
- навыками идентификации изделий, подходящих для качественной реализации трёхмерных технологий;
- методиками определения механических свойств материалов и изделий, полученных с применением методов и технологий 3D прототипирования.

Освоение учебной дисциплины согласно стандарту специальности, должно обеспечить формирование следующих **компетенций**:

АК-

	Дневная форма
Курс	2
Семестр	3
Лекции (часов)	26
Лабораторные занятия (часов)	26
Всего аудиторных (часов)	52
Формы текущей аттестации по учебной дисциплине	
Экзамен (семестр)	3

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Основы методов и технологий численного моделирования.

Тема 1.1. Введение в дисциплину.

Введение. Предмет курса, его цели и задачи. Моделирование как метод научного познания. Использование моделирования при исследовании, проектировании и эксплуатации систем в сталеплавильном производстве. Понятие о технологии. Возможности формализации больших систем. Адекватность и эффективность модели. Технологическая схема моделирования. Информационное, функциональное, формализованное моделирование. Этапы моделирования. Типы моделей.

Тема 1.2. Особенности решения задач численными методами с использованием современной компьютерной техники.

Примените графических ускорителей для кратного увеличения скорости вычислений. Применение систем распределённых вычислений. Аппаратная часть ЭВМ. Повышение надёжности решения задач. Прикладное программное обеспечение. Ускорение доступа к дисковым носителям с применением технологий твердотельных накопителей и массивов дисков. Повышение надёжности хранения информации. Применение систем «облачного» хранения данных. Виртуализация вычислений.

Тема 1.3. Технологии решения задач линейного программирования.

Численные методы интегрирования систем дифференциальных уравнений. Метод Эйлера. Уточнённый метод Эйлера. Метод Рунге-Кутты 4 порядка. Метод Адамса. Итерационные методы. Синтаксический метод с разложением в ряды. Точность и затраты. Компьютерные схемы реализации в технических приложениях. Проект. Система. Элемент. Объект - свойства и процесс. Связи. Структура. Переменные. Параметры. Состояние. Память и поведение. Показатели. Цель. Ограничения и ресурсы. Возмущения. Системные характеристики. Зависимость. Случайность. Детерминированность и стохастичность. Типы объектов и возможности формализации. Иерархия. Число. Мера. Шкала. Размерность. Законы баланса и движения. Система законов. Нелинейность. Гипотезы и допущения. Подобие. Адекватность. Точность. Отражение. Информация. Исчисление информации. Понятие и измерение сложности системы. Искусственная среда. Формализм. Задача. Обратная задача. Разрешимость и сложность. Алгоритм

Тема 1.4. Метод конечных элементов

Проекционный и вариационный подходы к построению разрешающих соотношений МКЭ. Виды конечных элементов и их классификация. Одномерные пробные функции. Двумерные базисные функции высших степеней. Трёхмерные базисные функции. Разбиение области на элементы. Требования к конечным элементам. Отображение и численное интегрирование. Параметрическое отображение. Субпараметрические, изопараметрические и суперпараметрические элементы. Численное интегрирование. Постановка нестационарных и динамических задач.

Разрешающие соотношения МКЭ для пространственной конечно-элементной дискретизации. Разрешающие соотношения МКЭ для пространственной и временной конечно-элементной аппроксимации. Физически нелинейные задачи. Метод Ньютона для решения нелинейной системы уравнений, полученной для физически нелинейной задачи. Геометрически нелинейные задачи. Общий случай больших деформаций и напряжений.

Тема 1.5. Обратные и некорректные задачи.

Основные понятия и примеры. Обратные и некорректные задачи. Понятие условно корректной задачи. Способы преодоления некорректности. Методы регуляризации. Метод квазирешений. Метод регуляризации Тихонова. Метод регуляризации на компактных множествах. Итерационные методы решения некорректных задач. Метод усечённых сингулярных разложений. Проекционный метод. Некоторые примеры решения обратных задач.

Тема 1.6. Разработка и исследование математических моделей и задачи оптимизации технологических процессов тепловой обработки материалов.

Математические модели технологического процесса нагрева металла в проходных печах. Модель тепловой работы методической печи. Модель температурного процесса нагрева металла. Численные методы решения краевой задачи противоточного теплообмена. Математические модели тепловых процессов обработки материалов в псевдоожигенном слое. Математическая модель тепловых процессов в псевдоожигенном слое. Диссоциация частицы известняка как задача с неизвестной границей. Исследование технологических параметров процесса производства металлургической извести. Математическое моделирование температурного процесса коксования.

Математическое моделирование тепловых процессов непрерывной разливки стали. Формулировка математической модели. Конечно-разностные аппроксимации исходных уравнений. Анализ результатов моделирования.

Раздел 2. Процессы и алгоритмы оптимизации в прикладных способах решения задач в сталеплавильном производстве.

Тема 2.1. Содержательные задачи линейного программирования.

Модели систем с сосредоточенными параметрами. Модели структурно перестраиваемых систем. Моделирование систем с распределёнными параметрами при перемещающихся массах. Моделирование систем в частных производных.

Тема 2.2. Многомерная локальная безусловная оптимизация

Статистическое моделирование систем. Метод Монте-Карло. Датчики и генераторы случайных чисел. Равномерный закон распределения случайных чисел. Оценка качества датчика случайных чисел. Возможности метода статистического моделирования и его точность.

Тема 2.3. Задачи многокритериальной оптимизации и методы их решения.

Потоки случайных событий. Распределение Пуассона. Пуассоновский

поток случайных событий. Потоки случайных событий с последствием. Моделирование систем массового обслуживания.

Тема 2.4. Идентификация параметров математических моделей технологических процессов тепловой обработки.

Постановка задач идентификации параметров математических моделей. Задачи начальной настройки параметров. Методы и алгоритмы регуляризации решения обратных задач. Методы и алгоритмы решения обратных задач с использованием сплайн-аппроксимации искомых функций. Метод наименьших квадратов для задачи идентификации параметров внешнего теплообмена в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ. Анализ адекватности моделей и эффективности численных методов настройки параметров. Алгоритмы оперативной настройки параметров математической модели. Исследование параметрической чувствительности математических моделей тепловых процессов. Задачи и методы исследования параметрической чувствительности математических моделей. Параметрическая чувствительность математических моделей процесса нагрева металла. Оптимальный теплофизический эксперимент для решения задач начальной настройки. Задача оптимизации пространственного расположения датчиков контроля температуры нагреваемых тел. Оптимизация теплофизического эксперимента по технологическим параметрам. Параметрическая чувствительность и оптимальный эксперимент для процессов с неизвестной границей.

Раздел 3. Практическое применение численного моделирования для решения задач оптимизации процессов в сталеплавильном производстве.

Тема 3.1. Оптимизация тепловых процессов в конструкциях агрегатов сталеплавильного производства.

Моделирование композиционных структур. Моделирование работы многослойных ограждений. Создание параметрических моделей для численного моделирования. Модели материалов, их создание и методы представления данных.

Тема 3.2. Гидродинамическое и аэродинамическое моделирование задач движения жидкости и газа.

Задачи движения жидких расплавов в металлургических агрегатах. Метод частиц и его использование для моделирования течения дисперсных сред и неньютоновских жидкостей. Моделирование теплообмена между жидкостью и твёрдым телом. Моделирование давления жидкости или газа на преграды. Применение теории подобия для анализа получаемых результатов.

Тема 3.3. Термонапряжённое состояние конструкций сталеплавильных агрегатов.

Формирование тепловых напряжений под воздействием нагрева и охлаждения разнотекстурных материалов. Задание параметров моделирования. Начальные и граничные условия. Адаптация экспериментальных данных. Повышение точности анализа. Применение

прикладных пакетов моделирования для скоростного расчёта задач термоупругости.

Тема 3.4. Теоретико-вероятностный анализ динамики технологических процессов тепловой обработки материалов

Анализ вероятностно-статистических характеристик возмущающих воздействий процесса нагрева металла на участке методических печей. Имитационное моделирование процесса нагрева металла в методической печи. Алгоритмы имитационного моделирования. Анализ статистической динамики температурных процессов нагрева металла. Исследование вероятностных характеристик технологических параметров процесса обработки материала в псевдооживленном слое. Алгоритмы расчёта плотности распределения частиц по времени пребывания в псевдооживленном слое. Исследование вероятностных характеристик времени пребывания частиц в псевдооживленном слое.

Тема 3.5. Синтез алгоритмов управления тепловой обработкой материалов и оценка их точности.

Анализ объекта управления и методов управления технологическими процессами тепловой обработки. Анализ функций высокоорганизованной системы управления и структуры управляющих воздействий технологического объекта. Критерии оптимальности и анализ методов управления технологическими процессами тепловой обработки. Исследование задач оптимального управления стационарными режимами нагрева металла. Постановка задачи и численные методы её решения. Анализ результатов решения задач оптимизации. Исследование помехоустойчивости различных режимов нагрева металла.

Тема 3.6. Использование прикладных пакетов для оптимизации в решении задач моделирования процессов в сталеплавильном производстве.

Обзор функциональных возможностей пакетов-оптимизаторов. Принципы и алгоритмы постановки задач планирования вычислительных опытов. Виды разрешённых алгоритмов оптимизации. Визуализация результатов моделирования. Принципы выбора «правильного» решения. Применение программ-оптимизаторов для поиска оптимальных конструкций агрегатов сталеплавильного производства. Применение оптимизации для создания конструкций каналов для течения жидкостей и газов. Оптимальное решение задач термонапряжённого состояния в конструкциях и деталях металлургического оборудования.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
(Дневная форма получения образования)**

Наименование раздела и темы	Количество аудиторных часов					Количество часов	Форма контроля
	лекции	практические занятия	Семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Раздел 1. Основы методов и технологий численного моделирования.</i>							
Тема 1.1. Введение в дисциплину.	1			1			Э*, О**, ЗЛР***
Тема 1.2. Особенности решения задач численными методами с использованием современной компьютерной техники.	1			1			Э, О, ЗЛР
Тема 1.3. Технологии решения задач линейного программирования	1			1			Э, О, ЗЛР
Тема 1.4. Метод конечных элементов	1			1			Э, О, ЗЛР
Тема 1.5. Обратные и некорректные задачи.	1			1			Э, О, ЗЛР
Тема 1.6. Разработка и исследование математических моделей и задачи оптимизации технологических процессов тепловой обработки материалов.	1			1			Э, О, ЗЛР
<i>Раздел 2. Процессы и алгоритмы оптимизации в прикладных способах решения задач в сталеплавильном производстве.</i>							
Тема 2.1. Содержательные задачи линейного программирования.	2			2			Э, О, ЗЛР
Тема 2.2. Многомерная локальная безусловная оптимизация.	2			2			Э, О, ЗЛР
Тема 2.3. Задачи многокритериальной оптимизации и методы их решения	2			2			Э, О, ЗЛР
Тема 2.4. Идентификация параметров математических моделей технологических процессов тепловой обработки.	2			2			Э, О, ЗЛР
<i>Раздел 3. Практическое применение численного моделирования для решения задач оптимизации процессов в сталеплавильном производстве.</i>							
Тема 3.1. Оптимизация тепловых процессов в конструкциях агрегатов сталеплавильного производства.	2			2			Э, О, ЗЛР

Тема 3.2. Гидродинамическое и аэродинамическое моделирование задач движения жидкости и газа.	2			2			Э, О, ЗЛР
Тема 3.3. Термонапряжённое состояние конструкций сталеплавильных агрегатов.	2			2			Э, О, ЗЛР
Тема 3.4. Теоретико-вероятностный анализ динамики технологических процессов тепловой обработки материалов.	2			2			Э, О, ЗЛР
Тема 3.5. Синтез алгоритмов управления тепловой обработкой материалов и оценка их точности.	2			2			Э, О, ЗЛР
Тема 3.6. Использование прикладных пакетов для оптимизации в решении задач моделирования процессов в сталеплавильном производстве.	2			2			Э, О, ЗЛР
ВСЕГО	26			26			

*- Экзамен. ** - Опрос. *** - Защита лабораторной работы.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Арутюнов В. А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: учебник для вузов / под науч. ред. В. А. Арутюнова. - Москва: Металлургия, 1990. - 238с.
2. Буснюк, Н. Н. Математическое моделирование: учебное пособие / Н. Н. Буснюк, А. А. Черняк. - Минск: Беларусь, 2014. - 213с.
3. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: Учебник для вузов – М.: МГТУ им. Баумана, 2003. – 496 с.
4. Леушин, И. О. Моделирование процессов и объектов в металлургии : учебник для вузов / И. О. Леушин. - Москва: ФОРУМ, 2013. - 206 с.

Дополнительная литература

5. Андриянов, Д. Н. Численное моделирование движения потоков стали в промежуточном ковше / Д. Н. Андриянов, М. Н. Новиков, А. И. Столяров // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого. - 2010. — № 3. — С. 25—34. УДК 621.746.588 ББК 34
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Боровиков, С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности / С. М. Боровиков. - Минск: ДизайнПРО, 1998. - 335 с
8. Иванов, И. А. Численное моделирование процессов массопереноса при вакуумно-плазменной обработке сталей / И. А. Иванов, И. В. Мисник, Х. Т. Е. Кармажи // Литье и металлургия. - 2014. — № 4. — С. 70—73.
9. Ермаков С.М. Курс статистического моделирования: Учеб. пособие для вузов. - М.: Наука, 1976. - 320с.
10. Исаев, Г. Н. Моделирование информационных ресурсов: теория и решение задач: учебное пособие для вузов / Г. Н. Исаев. - Москва: Альфа-М: ИНФРА-М, 2011. - 223 с.
11. Климович Ф.Ф., Присевок А.Ф. Математическое моделирование технологических задач в машиностроении: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов машиностроительных специальностей вузов. – Минск: БГПА, 2000. – 88 с.
12. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент : Введение в информатику с позиций математического моделирования. - М. : Наука, 1988. - 172с.
13. Красовский Г.Н., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
14. Кроль, Д. Г. Численное моделирование тепловых процессов на фазовой границе высокоскоростной кристаллизации / Д. Г. Кроль // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого. - 2000. — № 3. — С. 17—22.
15. Математическое моделирование и проектирование промышленных печей: учебное пособие / Ивановский энергетич. ин-т им. В.

И. Ленина. - Иваново: Ивановский гос. ун-т, 1984. - 89с.

16. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304с.

17. Кундас С. П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей : монография. - Минск : Бестпринт, 2005. - 313 с.

18. Покровский, А. И. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния и особенности структурообразования чугуна при горячем выдавливании / А. И. Покровский, П. Е. Луцник // Литье и металлургия. - 2014. — № 4. — С. 33—43.

19. Сюн Чжан Моделирование температуры, микроструктуры и механических свойств холоднокатанной нержавеющей стали SUS430 в процессе непрерывного отжига / Сюн Чжан, Чжи Вэнь // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2017. — № 12. — С. 62—70.

20. Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе уравнений Навье-Стокса / АН СССР, Ин-т проблем механики; В. И. Полежаев и др.; отв. ред. В. С. Авдудевский. - Москва : Наука, 1987. - 271с.

21. Основы научных исследований: Учеб. для техн. вузов /В.И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов и др.; Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. - М.: Высш. шк., 1989.-400с.

22. Практикум по автоматике: Математическое моделирование систем автоматического регулирования: учеб.пособие / Под ред. Б.А.Карташова. - Москва: КолосС, 2006. - 183с.

23. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для вузов. – Минск: ДизайнПРО, 1997. – 640 с.

24. Чичко О.И. Численное моделирование процесса нагрева движущегося слитка // Литье и металлургия = 2003. - №4.-С.59-62.

25. <http://www.3ds.com>.

26. <http://www.ansys.ru>.

27. <http://www.arenasimulation.com>.

28. <http://www.bham.ac.uk/>

29. <http://www.cadfem.ru/>

30. <http://www.cam.ac.uk/>

31. <http://www.castech.fi/>

32. <http://www.cimdata.com/>

33. <http://www.columbia.edu/>

34. <http://www.csoft.ru/>

35. <http://www.extendsim.com>

36. <http://www.flow3d.ru/>

37. <http://www.focad.ru/>

38. <http://www.gpss.ru/>

39. <http://www.ledas.com/>

40. <http://www.lotsia.com/>

41. <http://www.magmasoft.com/>

42. <http://www.minutemansoftware.com/>

43. <http://www.mscsoftware.ru/>

44. <http://www.opencascade.org/>
45. <http://www.procasts.com/>
46. <http://www.ptc.com/russia/>
47. <http://www.solidworks.ru/>
48. <http://www.ssau.ru/>
49. <http://www.tehno.pro.com/>
50. <http://www.thesis.com.ru/>
51. <http://www.think3.com/>
52. <http://www.ugs.ru/>

Характеристика рекомендуемых методов и технологии обучения

Рекомендуемыми методами обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на лабораторных занятиях и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссия, учебные дебаты, «мозговой штурм» и другие формы и методы), реализуемые на лабораторных занятиях и конференциях.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы магистрантов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- решение индивидуальных заданий;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов;
- подготовка сообщений, тематических докладов, презентаций по заданным темам;
- выполнение патентно-информационного поиска;
- проработка тем (вопросов), вынесенных на самостоятельное изучение;
- изготовление макетов и 3d печать моделей, созданных обучающимся;
- составление тематической подборки литературных источников, интернет-источников.

Перечень рекомендуемых средств диагностики

Для оценки достижений магистранта рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время лабораторных занятий;
- проведение текущих контрольных работ (заданий) по отдельным темам;
- защита выполненных на лабораторных занятиях индивидуальных заданий;

- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- выступление магистранта на конференции по подготовленному докладу, затрагивающему тематику курса и индивидуальной научной работы;
- сдача экзамена.

Требования к магистрантам при прохождении текущей аттестации

Обучающиеся допускаются к сдаче экзамена по учебной дисциплине при условии выполнения всех видов работ, предусмотренных настоящей учебной программой.

Критерии оценок результатов учебной деятельности

При оценке знаний магистранта в баллах по десятибалльной шкале применяются критерии оценки результатов деятельности обучающихся в учреждениях высшего образования по десятибалльной шкале (письмо Министерства образования Республики Беларусь от 28.05.2013 г. №09-10/53-ПО).

Примерный перечень тем лабораторных занятий

1. Моделирование заливки и кристаллизации слитка в изложнице.
2. Моделирование процессов центробежного литья.
3. Компьютерное исследование зависимости жидкотекучести сплавов от температуры (с использованием стандартной пробы в качестве геометрической модели).
4. Моделирование термоупругости для элементов конструкции печей.
5. Оптимизация геометрических характеристик детали, с учётом параметров нагружения в процессе эксплуатации.
6. Топологическая оптимизация конструкции деталей.
7. Параметрическая оптимизация конструкций деталей металлургического оборудования.
8. Моделирование нагрева заготовок в печах.
9. Моделирование теплообмена в элементах теплоизоляции металлургических печей.
10. Моделирование аэродинамики движения газов в аппаратах очистки.
11. Моделирование аэродинамики теплообменных аппаратов.
12. Построение нейросетевых регрессионных моделей по данным работы промышленных установок.

Примерный перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

1. Понятие математической модели. Сравнение натурального и математического моделирования. Структура математической модели. Свойства математических моделей.
2. Структурные и функциональные модели. Теоретические и эмпирические модели. Требования, предъявляемые к математическим моделям.
3. Представление математической модели в безразмерном виде. Основы теории подобия, использование теории подобия при моделировании металлургических процессов. Алгоритмизация математических моделей.

Дискретность (прерывность, раздельность) алгоритмов. Определённость алгоритмов. Результативность (конечность) алгоритмов. Массовость алгоритмов. Способы преобразования математических моделей к алгоритмическому виду.

4. Стационарные модели. Статические математические модели. Постоянство внешних воздействий. Описание установившихся процессов в технических устройствах. Анализ и оценка параметров технического объекта с использованием статических математических моделей.

5. Нестационарные модели. Динамические модели. Приближенные методы анализа динамических моделей.

6. Основные понятия и определения теории планирования эксперимента. Назначение, особенности и классификация планов первого порядка. Критерии оптимальности и свойства экспериментальных планов. Классический план первого порядка.

7. Оценивание коэффициентов линейной регрессионной модели. Оценивание дисперсии случайной ошибки. Проверка однородности дисперсий случайной ошибки. Проверка значимости оценок коэффициентов регрессионной модели. Проверка адекватности и анализ работоспособности регрессионной модели.

8. Классификация методов и задач оптимизации. Метод дихотомии. Метод Фибоначчи. Метод золотого сечения. Метод одномерной оптимизации с постоянным шагом. Принципы параметрической оптимизации.

9. Сущность метода покоординатного спуска. Сущность метода вращающихся координат. Метод градиента и крутого восхождения. Корреляционный анализ.

10. Метод Ньютона. Метод регулярного симплекса. Метод деформируемого многогранника. Функции желательности. Условная оптимизация с ограничениями типа равенств.

11. Причины возникновения нелинейности. Модель материалов с нелинейными свойствами. Особенности решения задач для анизотропных материалов. Физически нелинейные задачи. Методы построения разрешающей системы уравнений. Геометрически нелинейные задачи.

12. Общие положения метода. Выделение конечных элементов. Аппроксимация векторных величин. Объединение конечных элементов в ансамбль. Скалярные величины. Векторные величины. Задача стационарной теплопроводности Одномерный случай переноса тепла. Двумерный перенос тепла. Трёхмерный перенос тепла. Задача нестационарной теплопроводности.

13. Сущность метода, достоинства и недостатки. Построение сетки. Разностная схема краевой задачи. Конечно – разностная аппроксимация производных. Интерполяция граничных условий. Построение системы разностных уравнений. Особенности решения нелинейных задач. Практическая реализация конечно-разностного моделирования для решения задач в области металлургических процессов.

14. Программные комплексы на основе метода конечных разностей.

Программные комплексы на основе метода конечных элементов. Особенности программной реализации матричных алгоритмов. Численные методы решения систем линейных уравнений.

15. Организация вычислительного эксперимента. Способы получения информации. Виды информации. Виды сигналов и их применение в информационных системах. Преобразование непрерывных сигналов в дискретные путём дискретизации во времени. Энтропия и информация. Энтропия как мера неопределённости выбора. Кодирование информации как метод повышения эффективности и обеспечения точности передачи. Современные системы математических вычислений, использующие производительность графических ускорителей.

16. Основные понятия и определения теории вероятностей. Функция и плотность распределения вероятностей случайной величины. Математическое ожидание, дисперсия и стандартное отклонение непрерывной случайной величины. Нормальное распределение случайной величины. Система двух случайных величин. Функция и плотность распределения системы двух случайных величин. Ковариация и коэффициент корреляции. Нормальное распределение двумерной случайной величины.

17. Задачи оптимизации конструкции в контексте качества проектирования и надёжности эксплуатации машин и механизмов металлургического производства. Принципы и методы расчёта оптимальной конструкции детали. Усталостные напряжения и их анализ. Сфера применения, ограничения метода.

18. Уравнения для расчёта динамики жидкости и газа и методы их решения. Основы гидродинамики при литье металлов.

19. Достоинства методов искусственного интеллекта. Перспективы применения для прогнозирования и управления производственными процессами. Метод нейронных сетей. Практическая реализация.

20. Начальные и граничные условия. Нелинейный характер процессов теплового и гидродинамического взаимодействия. Модель материалов. Адекватность моделирования и её оценка. Моделирование экзотермических материалов и теплоизоляторов.

21. Особенности взаимодействия между металлом и металлической формой. Проектирование и изготовление пресс-форм для литья под давлением. Гидродинамика заполнения металлом формы. Тепловые параметры взаимодействия. Граничные условия.

22. Аналитические модели. Общие принципы и подходы к моделированию процессов непрерывного литья. Симметрия и асимметрия процессов теплообмена. Формирование кристаллической структуры. Прогнозирование дефектов. Неметаллические включения. Оптимизация процессов непрерывного литья.

23. Принципы расчёта и моделирования дефектов. Методы предупреждения возникновения критически значимых дефектов в заготовках.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Основы оптимизации металлургических процессов	МиТОМ	нет	02.05.2019 № 6
Численное моделирование сортопрокатного производства	МиТОМ	нет	02.05.2019 № 6
Численное моделирование трубопрокатного производства	МиТОМ	нет	02.05.2019 № 6
Численное моделирование метизного производства	МиТОМ	нет	02.05.2019 № 6
Новые процессы и материалы металлургического производства	МиТОМ	нет	02.05.2019 № 6
Системы управления качеством металлургического производства	МиТОМ	нет	02.05.2019 № 6

Зав.кафедрой
«Металлургия и технологии
обработки материалов»

Ю.Л.Бобарикин

РЕЦЕНЗИЯ

на учебную программу по дисциплине «Численное моделирование технологических процессов в сталеплавильном производстве» для специальности магистратуры 1-42 80 01 «Металлургия»

Учебная программа дисциплине «Численное моделирование технологических процессов в сталеплавильном производстве» определяет и регламентирует структуру, содержание и объем одной из важных дисциплин специальности 1-42 80 01 магистратуры и отражает цели и задачи программ нового поколения. Содержание тематического плана курса включает наиболее значимые разделы предметной области технологий численного моделирования, отличается чёткой последовательностью изложения, отражает как общие фундаментальные вопросы, так и прикладные, конкретные производственные аспекты.

Программой предусмотрено рассмотрение вопросов практического приложения моделирования для исследования процессов и функционирования агрегатов металлургического производства.

Рассмотрены основные принципы и этапы численного моделирования различного назначения, и освещены вопросы, связанные с подготовкой математических моделей. Приведены подробные сведения о различных видах технологий моделирования, распространённых в настоящее время во множестве отраслей промышленности и широко применяемых в металлургии.

В программе определены также характеристики рекомендуемых методов и технологий обучения, диагностики компетенции студента и организации его самостоятельной работы. Значительную часть курса составляют прикладные вопросы применения математического моделирования в металлургии. Нельзя не отметить целевую ориентацию содержания дисциплины на изучение математического моделирования в ходе лекционных и лабораторных занятий, что должно положительно отражаться на уровне профессиональных навыков магистрантов.

Программа составлена с учётом реальных требований к современному металлургическому производству, эффективности и качеству производственных процессов. В программе определены характеристики рекомендуемых методов и технологий обучения,

диагностики компетенции магистранта и организации его самостоятельной работы. Программа ориентирует преподавателя, ведущего данную дисциплину, на углубленную и качественную подготовку специалистов и изложение современных технологий и методов в области численного моделирования.

В программе предложено достаточно полное информационно-методическое обеспечение, которое может быть успешно использовано как при аудиторной, так и при самостоятельной работе магистрантов. Приведён список основной и дополнительной литературы, которой необходимо пользоваться при изучении курса. Содержание учебной программы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени специальности 1-42 80 01 «Металлургия» и учебному плану специальности.

Рецензируемая программа в достаточной степени охватывает вопросы, необходимые для дальнейшего изучения прикладных дисциплин будущими магистрами металлургического профиля.

Вопросы и темы, в представленной программе в полной мере касаются и соответствуют по уровню программам магистратуры.

РЕЦЕНЗЕНТ

главный металлург
открытого акционерного
общества «СтанкоГомель»

Бардюгов
Николай
Николаевич