

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

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

\_\_\_\_\_ А.А.Бойко

(подпись)

\_\_\_\_\_ 05.12. 2019

(дата утверждения)

Регистрационный № УД -<sub>маг</sub> 140 /уч.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОРТОПРОКАТНОМ  
ПРОИЗВОДСТВЕ**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной  
дисциплине для специальности магистратуры  
1-42 80 01 «Металлургия»

Учебная программа составлена на основе:  
образовательного стандарта ОСВО 1-42 80 01-2012; учебного плана  
учреждения образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого» специальности 1-42 80 01 «Металлургия»  
№I 42-2-05/уч. от 05.01.2016.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

И.В. Астапенко, доцент кафедры «Металлургия и технологии  
обработки материалов» учреждения образования «Гомельский  
государственный технический университет имени П.О. Сухого», кандидат  
сельскохозяйственных наук.

**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 № 10 от 16.09.2019);

Научно-методическим советом механико-технологического факультета  
учреждения образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого»  
(протокол № 11 от 12.11.2019);

Научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский  
государственный технический университет имени П.О. Сухого»  
(протокол № 2 от 03.12.2019).

## **1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

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

### **1.1 Цели и задачи учебной дисциплины**

Объектом изучения дисциплины «Численное моделирование в сортопрокатном производстве» являются методы моделирования технологических процессов сортовой прокатки, подробное изучение методик их реализации, включая анализ расчётных особенностей математического моделирования в виде инженерных подходов и численного моделирования (МКР, МКЭ, МГЭ).

**Целью 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 минизаводов.

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 специальности 1-42 80 01 «Металлургия» 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 профилизации должен быть подготовлен к решению следующих задач профессиональной деятельности:

- применению современных методов проектирования технологических процессов в сортопрокатном производстве, оформление проектной документации;

- проведению комплексных структурированных научных исследований в области сортопрокатного 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, 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 сортопрокатных технологий 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, теория и технологии прокатного производства, 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 «Численное моделирование в сортопрокатном производстве» магистрант должен:

**знать:**

- теоретические фундаментальные основы компьютерного проектирования, методы расчета систем, 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 оптимальной калибровки валков и инструмента вспомогательного оборудования;

- последовательность и стадии разработки расчётных алгоритмов протекания пластической деформации в калибрах валков;

- практические приёмы по оценке характера взаимодействия прокатного инструмента и металла.

**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.

## **1.2 Требования к компетенциям магистра**

Магистр, освоивший содержание образовательной программы дисциплины «Численное моделирование в сортопрокатном производстве» магистратуры по специальности 1-42 80 01 «Металлургия», должен обладать универсальными, углубленными профессиональными и специализированными компетенциями.

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

### **1.2.1 Требования к академическим компетенциям магистра**

*Магистр должен иметь:*

АК-1. Способность к самостоятельной научно-исследовательской деятельности (анализ, сопоставление, систематизация, абстрагирование, моделирование, проверка достоверности данных, принятие решений и др.), готовность генерировать и использовать новые идеи.

АК-3. Способность к постоянному самообразованию.

*Магистр должен быть способным:*

АК-6. Самостоятельно изучать новые методы проектирования, исследований, организации производства, изменять научный и производственный профиль своей профессиональной деятельности.

АК-7. Самостоятельно приобретать новые знания и умения, в том числе в областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности.

### **1.2.2 Требования к профессиональным компетенциям магистра**

*Магистр должен быть способен:*

*Организационно-управленческая деятельность*

ПК-1. Принимать оптимальные управленческие решения.

1.2.3 Требования к социально-личностным компетенциям магистра  
*Магистр должен быть способным:*

СЛК-7. Анализировать и принимать решения по социальным, этическим, научным и техническим проблемам, возникающим в профессиональной деятельности.

Форма получения высшего образования: **дневная**. Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины «Численное моделирование в сортопрокатном производстве» в соответствии с учебным планом по специальности 1-42 80 01 «Металлургия» составляет 160 часов.

<b>Вид занятий, курс, семестр</b>	<b>Дневная форма</b>
Курс	2
Семестр	4
Лекции (часов)	26
Лабораторные занятия (часов)	26
Всего аудиторных (часов)	52
<b>Формы текущей аттестации по учебной дисциплине</b>	
Экзамен (семестр)	4

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 4,0 зачетные единицы.

### **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 сортопрокатном. 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. Компьютерные схемы реализации в технических приложениях. Законы баланса и движения. Система законов. Нелинейность. Гипотезы и допущения. Подобие. Адекватность. Точность. Исчисление информации. Понятие и измерение сложности системы.

#### **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.

### **Раздел 3. Практическое применение численного моделирования для решения задач оптимизации процессов в сортопрокатном производстве.**

#### **Тема 3.1. Оптимизация калибровки валков.**

Моделирование прокатки в клетях с разными условиями деформации. Моделирование работы валковых проводок. Создание параметрических моделей для численного моделирования. Модели материалов, их создание и методы представления данных.

#### **Тема 3.2. Динамическое моделирование непрерывной прокатки.**

Задачи непрерывной прокатки полосы в нескольких клетях. Метод конечных объемов и его применения для моделирования условий с разрывом сетки. Моделирование процессов кантовки полосы. Применение теории подобия для анализа получаемых результатов.

#### **Тема 3.3. Термонапряжённое состояние элементов прокатных клетей.**

Формирование тепловых напряжений под воздействием нагрева и охлаждения разноструктурных материалов. Задание параметров моделирования. Начальные и граничные условия. Адаптация экспериментальных данных. Повышение точности анализа. Моделирование теплообмена между валками и прокатываемой полосой.

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

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>Раздел 1 Основы методов и технологий численного моделирования.</b>	<b>9</b>	-	-	<b>6</b>	-	-	
1.1	Введение в дисциплину.	3	-	-	-	-	-	Э*, О**, ЗЛР***
1.2	Особенности решения задач численными методами с использованием современной компьютерной техники.	3	-	-	3	-	-	Э, О, ЗЛР
1.3	Технологии решения задач линейного программирования	3	-	-	3	-	-	Э, О, ЗЛР
	<b>Раздел 2 Процессы и алгоритмы оптимизации в прикладных способах решения задач в сортопрокатном производстве.</b>	<b>8</b>	-	-	<b>8</b>	-	-	Э, О, ЗЛР
2.1	Содержательные задачи линейного программирования.	4	-	-	4	-	-	Э, О, ЗЛР
2.2	Многомерная локальная безусловная оптимизация.	2	-	-	-	-	-	Э, О, ЗЛР
2.3	Задачи многокритериальной оптимизации и методы их решения	2	-	-	4	-	-	Э, О, ЗЛР
	<b>Раздел 3 Практическое применение численного моделирования для решения задач оптимизации процессов</b>	<b>9</b>	-	-	<b>12</b>	-	-	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>в сортопрокатном производстве.</b>							
3.1	Оптимизация калибровки валков	3	-	-	4	-	-	Э, О, ЗЛР
3.2	Динамическое моделирование непрерывной прокатки.	3	-	-	4			Э, О, ЗЛР
3.3	Термонапряжённое состояние элементов прокатных клетей.	3	-	-	4	-	-	Э*, О**, ЗЛР***
<b>Итого (часов) по дисциплине:</b>		<b>26</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>26</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>экзамен</b>

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

### Перечень и тематика лабораторных работ:

№п/п	Наименование тем и их содержание	Объем, час.
1	Обработка результатов численных экспериментов инструментами программного пакета математической статистики STATISTICA 3D	3
2	Обработка результатов численных экспериментов инструментами программного пакета Microsoft Excel	3
3	Численное моделирование процесса прокатки квадратной полосы в овальном калибре	4
4	Численное моделирование процесса прокатки прямоугольной полосы в квадратном калибре	4
5	Моделирование непрерывной прокатки в системе калибров «Квадрат – прямоугольник – квадрат»	4
6	Моделирование непрерывной прокатки в системе калибров «Квадрат-овал-круг»	4
7	Численное моделирование процесса кантовки овальной полосы в конических неприводных роликах	4
	<b>ИТОГО:</b>	<b>26</b>

## 4 ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1 Список литературы

#### Основная литература

1. Буснюк, Н. Н. Математическое моделирование: учебное пособие / Н. Н. Буснюк, А. А. Черняк. - Минск: Беларусь, 2014. - 213с.
2. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов: учебное пособие / Н. В. Голубева. - Изд. 2-е. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2016. - 191 с.
3. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике: учебник для вузов / под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. - 2-е изд., стер. - Москва: Изд-во МГТУ, 2003. - 495с.
4. Королев, А. Л. Компьютерное моделирование: лабораторный практикум / А. Л. Королев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 296 с.
5. Кундас, Ю. С. П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография. – Мн.: Бестпринт, 2005. - 313 с.
6. Леушин, И. О. Моделирование процессов и объектов в металлургии: учебник для вузов / И. О. Леушин. – М.: ФОРУМ, 2013. - 206 с.
7. Попов, В. Б. Математическое моделирование технических объектов и процессов: пособие для вузов / В. Б. Попов; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т. им. П. О. Сухого. - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. - 164 с.
8. Шестаков, Н. А. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программном комплексе Forming : учебное пособие / Н. А. Шестаков, А. В. Власов. - Москва: МГИУ, 2006. - 100 с.
9. SolidWorks 2007/2008: компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский [и др.]. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2008. - 1028 с.
10. Иванов, В.В. Математическое моделирование: учебно-методическое пособие / В.В. Иванов, О.В. Кузьмина; Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – 88 с.: схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459482> – ISBN 978-5-8158-1744-9. – Текст: электронный.
11. Маковкин, Г.А. Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела: учебное пособие / Г.А. Маковкин, С.Ю. Лихачева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВПО ННГАСУ). – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – Ч. 1. – 72 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=427425> – Библиогр. в кн. – Текст: электронный.
12. Гарбер, Э. Моделирование и совершенствование теплового режима и профилировок валков широкополосных станов горячей прокатки:

монография / Э. Гарбер, М. Хлопотин; науч. ред. З.К. Кабаков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», Инженерно-технический институт. – Череповец: ЧГУ ; Москва: Теплотехник, 2013. – 114 с. : ил.,табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434759> – ISBN 978-5-85341-523-2. - ISBN 978-5-98457-113-5. – Текст: электронный.

#### **Дополнительная литература**

13. Использование пакета LS-DYNA для компьютерного моделирования процесса поперечно-клиновой прокатки / А.А. Абрамов, Г.В. Кожевникова // Весці НАН Беларусі. Серыя фіз.-тэх. навук. - 2011. — №2. — С.41—50.

14. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 542 с.

15. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент: Введение в информатику с позиций математического моделирования. - М. : Наука, 1988. - 172с.

16. Кундас С. П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография. – Мн.: Бестпринт, 2005. - 313 с.

17. Математическое моделирование процесса холодной прокатки в неприводных валках / Агасьянц Г.А. // Кузнечно-штамповочное производство. - 2004. - №8.-С.37-39.

18. Михайлов, М. И. Математическое моделирование и САПР процессов резания, станков и инструментов : учебное пособие для вузов / М. И. Михайлов. - Гомель: ГГТУ, 2004. - 273 с.

19. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 480 с.

20. Чижиков, Ю.М. Моделирование процесса прокатки // М.: Металлургиздат, 1963. - 126 с.

21. Чумаченко, Е.Н., Логашина, И. В. Математическое моделирование течения метала при прокатке: Учебное пособие для ВУЗов. М.: МИЭМ, 2005. – 234 с.

## **4.2 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.

## **4.3 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.

## **4.4 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.

#### **4.5 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.

При прохождении текущей аттестации магистрантам запрещается пользоваться учебными изданиями, записями, конспектами, мобильными телефонами и другими средствами хранения и передачи информации.

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).

#### **4.6 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. Определенность 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 неопределенности 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 надежности эксплуатации машин и механизмов металлургического производства. Принципы и методы расчета оптимальной конструкции детали. Усталостные напряжения и их анализ. Сфера применения, ограничения метода.

18. Основы динамики пластического течения металла при прокатке 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 ее оценка. Моделирование экзотермических материалов.

21. Особенности взаимодействия между металлом и инструментом прокатки. Проектирование калибров валков. Динамика заполнения металлом калибра. 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. Оптимизация технологического процесса горячей сортовой прокатки.

23. Принципы расчета и моделирования дефектов. Методы предупреждения возникновения критически значимых дефектов в прокате.

## 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
Магистерская диссертация	МиТОМ	нет Ю.Л. Бобарикин