

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 30.01.2023 16:41:18

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Моделирование и оптимизация технологических процессов

Закреплена за подразделением

Кафедра цветных металлов и золота

Направление подготовки

22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ

Профиль

Технологический менеджмент в производстве цветных металлов и золота

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**6 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

216

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 2

аудиторные занятия

48

курсовая работа 2

самостоятельная работа

168

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	8			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	16	16	16	16
Лабораторные	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48	48	48	48
Сам. работа	168	168	168	168
Итого	216	216	216	216

Программу составил(и):

*к.тн, доцент, Киров Сергей Сергеевич*

Рабочая программа

**Моделирование и оптимизация технологических процессов**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.04.02 Metallургия, 22.04.02-ММТ-22-6.plx Технологический менеджмент в производстве цветных металлов и золота, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.02 Metallургия, Технологический менеджмент в производстве цветных металлов и золота, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра цветных металлов и золота**

Протокол от 22.06.2021 г., №19

Руководитель подразделения Тарасов В.П.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цели освоения дисциплины (модуля): подготовка специалиста к научно-технической и организационно-методической деятельности, ориентированной на моделирование технологического процесса и (или) управление технологическим агрегатом с помощью элементов математической модели систем, обладающих временным дрейфом параметра оптимизации
1.2	

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Металлургия благородных металлов. Производство благородных металлов	
2.1.2	Новые металлургические технологии, часть 1	
2.1.3	Оказание первой помощи пострадавшим	
2.1.4	Статистические методы управления качеством металлургической продукции	
2.1.5	Металлургия вторичных легких металлов. Первичная переработка лома и отходов цветных металлов	
2.1.6	Металлургия меди и никеля. Производство меди, никеля и сопутствующих элементов	
2.1.7	Металлургия рассеянных редких металлов. Производство рассеянных редких металлов	
2.1.8	Металлургия редкоземельных и радиоактивных металлов. Производство редкоземельных и радиоактивных металлов	
2.1.9	Металлургия свинца и цинка. Производство цинка, свинца и сопутствующих элементов	
2.1.10	Металлургия тугоплавких редких металлов. Производство тугоплавких редких металлов	
2.1.11	Основы проектирования и строительное дело	
2.1.12	Производство глинозема. Производство глинозема	
2.1.13	Электрометаллургия алюминия и магния. Производство алюминия и магния	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Информационные технологии	
2.2.2	Металлургия благородных металлов. Комплексное использование сырья и отходов благородных металлов	
2.2.3	Научно-исследовательская работа	
2.2.4	Новые металлургические технологии, часть 2	
2.2.5	Потребительские свойства металлургической продукции	
2.2.6	Современные методы и оборудование металлургии, машиностроения и материаловедения	
2.2.7	Современные проблемы металлургии, машиностроения и материаловедения	
2.2.8	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.9	Преддипломная практика	
2.2.10	Металлургия вторичных легких металлов. Производство легких сплавов	
2.2.11	Металлургия меди и никеля. Комплексное использование сырья и отходов меди и никеля	
2.2.12	Металлургия рассеянных редких металлов. Комплексное использование сырья и отходов рассеянных редких металлов	
2.2.13	Металлургия редкоземельных и радиоактивных металлов. Комплексное использование сырья и отходов редкоземельных и радиоактивных металлов	
2.2.14	Металлургия свинца и цинка. Комплексное использование сырья и отходов свинца и цинка	
2.2.15	Металлургия тугоплавких редких металлов. Комплексное использование сырья и отходов тугоплавких редких металлов	
2.2.16	Производство глинозема. Комплексное использование сырья и отходов производства глинозема	
2.2.17	Современные экономические проблемы цветной металлургии	
2.2.18	Управление проектами	
2.2.19	Электрометаллургия алюминия и магния. Комплексное использование сырья и отходов алюминия и магния	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

**ОПК-4:** Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области

**Знать:**

ОПК-4-32 Основные правила поиска и сбора информации, методы использования информации для подготовки и принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК-4-31 Базы данных, пакеты прикладных программ и средства компьютерной графики для решения профессиональных задач
<b>УК-2: Способен интегрировать знания и принимать решения в сложных ситуациях, формулировать суждения на основе неполной или ограниченной информации, управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла</b>
<b>Знать:</b>
УК-2-32 Принципы получения и обработки информации о свойствах объектов и материалов
УК-2-31 Принципы сбора, отбора и обобщения информации, методики системного подхода для решения профессиональных задач, с использованием методов моделирования и применением новейших технологий
<b>ОПК-4: Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-4-У1 Применять базы данных, пакеты прикладных программ и средства компьютерной графики для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
<b>УК-2: Способен интегрировать знания и принимать решения в сложных ситуациях, формулировать суждения на основе неполной или ограниченной информации, управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла</b>
<b>Уметь:</b>
УК-2-У1 Применять для решения поставленных задач принципы сбора, отбора и обобщения информации, методики системного подхода для решения профессиональных задач, с использованием методов моделирования и применением новейших технологий
УК-2-У2 Определять основные свойства объектов и материалов и выбирать методы получения и анализа соответствующей информации
<b>ОПК-4: Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-4-В1 Приемы, связанные с анализом, синтезом, структурированием информации для использования в научной и практической деятельности
<b>УК-2: Способен интегрировать знания и принимать решения в сложных ситуациях, формулировать суждения на основе неполной или ограниченной информации, управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла</b>
<b>Владеть:</b>
УК-2-В1 Навыки решения практических задач с использованием методики системного подхода для решения профессиональных задач, с использованием методов моделирования и применением новейших технологий
УК-2-В2 Методами и способами получения, хранения и обработки и анализа информации об основных свойствах объектов и материалов

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Методы построения математических моделей</b>							
1.1	Введение /Лек/	2	1	ОПК-4-32 УК-2-31 УК-2-32	Л1.4Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4			
1.2	Классификация математических моделей /Лек/	2	1	УК-2-31 УК-2-32	Л1.3 Л1.4Л2.2			
1.3	Основные виды математических моделей процессов получения металлов /Пр/	2	4	УК-2-У1 УК-2-У2	Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.2 Л2.4 Э1 Э2 Э3			Р11
1.4	Основы математического пакета MathCad /Лаб/	2	1	УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1			Р1

1.5	Основы математического пакета MathCad /Ср/	2	5	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 УК-2-У1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 1.		Р1
1.6	Функции регрессии. Численное решение алгебраических уравнений и систем уравнений в среде MathCad /Лаб/	2	1	ОПК-4-В1 УК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1			Р2
1.7	Функции регрессии. Численное решение алгебраических уравнений и систем уравнений в среде MathCad /Ср/	2	4	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 УК-2-У1 УК-2-У2 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 2.		Р2
1.8	Основные этапы создания математической модели /Лек/	2	2	УК-2-31 УК-2-32	Л1.3 Л1.4Л2.2			
1.9	Принципы построения математической модели технологического процесса (агрегата) /Лек/	2	2	УК-2-31 УК-2-32	Л1.3 Л1.4Л2.2 Л2.4			
1.10	Решение дифференциальных уравнений и основы программирования в среде Mathcad /Лаб/	2	2	ОПК-4-В1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1			Р3
1.11	Решение дифференциальных уравнений и основы программирования в среде Mathcad /Ср/	2	7	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 3.		Р3
1.12	Курсовая работа. "Математическое моделирование технологического процесса в цветной металлургии" /Ср/	2	128	ОПК-4-32 ОПК-4-В1 УК-2-31 УК-2-32 УК-2-У1 УК-2-У2 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.4 Л1.5Л2.2 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Примерный перечень названий курсовых представлен в разделе ФОС: перечень работ, выполняемых по дисциплине		Р10
<b>Раздел 2. Математические модели гомогенных и гетерогенных систем</b>								
2.1	Кинетика гомогенных реакций /Лек/	2	2	УК-2-31 УК-2-32	Л1.1 Л1.4 Л1.6Л2.2			
2.2	Уравнения материального баланса для гомогенных систем /Пр/	2	3	ОПК-4-В1 УК-2-У1 УК-2-У2 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.4 Л1.5Л2.2 Л2.4 Э1 Э2 Э3			Р12
2.3	Определение фазовой диаграммы вещества на основе аналитического уравнения состояния /Лаб/	2	2	ОПК-4-В1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л1.1 Л2.4			Р4

2.4	Определение фазовой диаграммы вещества на основе аналитического уравнения состояния /Ср/	2	4	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 УК-2-У1 УК-2-У2 УК-2-В1 УК-2-В2	Л2.1 Л1.3 Л1.5Л2.2 Л2.4	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 4.		Р4
2.5	Моделирование реакций в аппаратах с различной структурой потока /Лаб/	2	2	ОПК-4-В1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.1 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Л2.4			Р5
2.6	Моделирование реакций в аппаратах с различной структурой потока /Ср/	2	4	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.4	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 5.		Р5
2.7	Кинетика гетерогенных реакций /Лек/	2	3	УК-2-31 УК-2-32	Л1.1 Л1.4 Л1.6Л2.2			
2.8	Уравнения материального баланса для гетерогенных систем /Пр/	2	4	УК-2-У1 УК-2-У2 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.4 Л1.5Л2.2 Л2.4 Э1 Э2 Э3			Р13
2.9	Определение условий фазовых равновесий пар-жидкость идеальных растворов /Лаб/	2	2	ОПК-4-В1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.1 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.4			Р6
2.10	Определение условий фазовых равновесий пар-жидкость идеальных растворов /Ср/	2	4	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 УК-2-У1 УК-2-У2 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Л2.4	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 6.		Р6
2.11	Определение коэффициентов активности по экспериментальным данным фазового равновесия пар-жидкость. Контрольная работа №1 /Лаб/	2	2	ОПК-4-В1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.4		КМ1	Р7
2.12	Определение коэффициентов активности по экспериментальным данным фазового равновесия пар-жидкость /Ср/	2	4	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Л2.4	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 7.		Р7
	<b>Раздел 3. Постановка задачи оптимизации технологических процессов</b>							
3.1	Постановка задачи оптимального управления /Лек/	2	2	ОПК-4-32 УК-2-31 УК-2-32	Л1.3 Л1.4Л2.2			
3.2	Критерии оптимального управления технологическим процессом /Пр/	2	5	УК-2-У1 УК-2-У2	Л1.1 Л1.5 Л1.6Л2.2 Л2.4 Э1 Э2 Э3 Э4			Р14
3.3	Моделирование процесса ректификации бинарной смеси в тарельчатой колонне. Защита курсовой работы /Лаб/	2	2	ОПК-4-В1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.4		КМ3	Р8

3.4	Моделирование процесса ректификации бинарной смеси в тарельчатой колонне /Ср/	2	4	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-У2 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.1 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 8.		Р8
3.5	Основные критерии управления технологических процессов /Лек/	2	3	ОПК-4-32 УК-2-31 УК-2-32	Л1.3 Л1.4Л2.2			
3.6	Проектный и поверочный расчет абсорбера. Контрольная работа №2 /Лаб/	2	2	ОПК-4-В1 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.1 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2		КМ2	Р9
3.7	Проектный и поверочный расчет абсорбера /Ср/	2	4	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 УК-2-31 УК-2-32 УК-2-У1 УК-2-У2 УК-2-В1 УК-2-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2	Контроль осуществляется при защите лабораторной работы 9.		Р9

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Контрольная работа №1	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2	<p>1. Примерные вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Что такое регрессионный анализ?</li> <li>2) Что такое коэффициент корреляции?</li> <li>3) Какие функции решения уравнения с одним неизвестным и системы уравнений используются в MathCad?</li> <li>4) Дайте определение экспертного подхода.</li> <li>5) Опишите жизненные этапы математической модели.</li> </ol> <p>2. Примерные задания:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) В среде MathCad задайте экспериментальные данные, близкие к линейной зависимости, в виде таблицы. Определите коэффициент корреляции. Получите функцию линейной регрессии, описывающую эти экспериментальные данные. Графически и численно определите точность полученной функции регрессии.</li> <li>2) В среде MathCad задайте произвольный набор данных Y и X. Определите коэффициент корреляции данного набора данных. С помощью функции linfit определите вид линейной зависимости между Y и X. В качестве функции F используйте выражение <math>F(x) = a \cdot \sin(x) + b \cdot \cos(2x) + d \cdot x^{0,33} + k \cdot x</math>. Графически и численно определите точность полученной функции регрессии.</li> </ol> <p>3. Примерные задачи:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Сравнить два аналитических метода для определения содержания <math>Al_2O_3</math> в алюминатных растворах. Оценить наличие в полученных результатах: <ul style="list-style-type: none"> <li>Метод 1: 239 243 240 238 245 –</li> <li>Метод 2: 235 249 244 242 245 247</li> </ul> грубой ошибки, проверить гипотезы об однородности дисперсий (наличие случайной ошибки) и средних (наличие систематической ошибки) с уровнем значимости 0,05.</li> <li>2) Оцените тесноту связи между содержанием <math>Na_2O</math> и <math>SiO_2</math> (% по масс.) в нефелиновых концентратах Горячегогорского месторождения по следующим данным:  <math>Na_2O</math>: 5,01 4,59 4,75 5,13 4,88 4,92  <math>SiO_2</math>: 6,30 6,03 6,11 6,25 6,07 6,14.</li> </ol>

КМ2	Контрольная работа №2	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2	<p>1. Примерные вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Виды моделей, которые используются для описания систем управления.</li> <li>2) Методы определения параметров уравнения регрессии.</li> <li>3) Что понимают под структурой потока в аппарате?</li> <li>4) На основе чего составляются математические модели реакторов?</li> <li>5) Определите области применимости разработанной математической модели.</li> </ol> <p>2. Примерные задания:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) В среде MathCad задайте произвольный набор данных Y и X в виде таблицы. Определите коэффициент корреляции между данными. С помощью функции genfit определите вид зависимости между Y и X. Для нахождения зависимости между данными использовать функцию вида <math>F(x)=\exp(A+B\cdot x+C\cdot x^2)</math>, где A, B, и C – неизвестные. Графически и численно определите точность полученной функции регрессии.</li> <li>2) В среде MathCad с помощью функции root найдите корни уравнения: <math>4\cdot x^3-5\cdot x+10=0</math>, используя различные интервалы локализации и точки начального приближения.</li> </ol> <p>3. Примерные задачи:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Сравнить гидродинамическую обстановку в лабораторном и промышленном реакторе при условии идентичности условий теплопередачи. Реакторы работают на пульпе плотностью 2500 кг/м<sup>3</sup> и вязкостью <math>950\cdot 10^{-6}</math> Па·с. Диаметр мешалки в лабораторном реакторе 0,09 м. Диаметр мешалки в промышленном реакторе 1,5 м. Скорость вращения мешалки в лабораторном реакторе 400 1/мин.</li> <li>2) В лабораторном реакторе с внутренним диаметром D=0,1 м, высотой – 2·D м, диаметром мешалки 0,05 м и числом оборотов 25 1/с изучают коэффициент теплопередачи от стенки аппарата к пульпе. Определить: <ol style="list-style-type: none"> <li>а) размеры пилотного реактора при условии геометрического подобия аппаратов с учетом, что отношение объемов аппаратов равно 100;</li> <li>б) гидродинамическую обстановку, сохраняющую коэффициент теплопередачи.</li> </ol> </li> </ol> <p>Расчеты выполнить для жидкости: плотность – 1000 кг/м<sup>3</sup>, вязкость – <math>0,89\cdot 10^{-3}</math> Па·с.</p>
КМ3	Защита курсовой работы "Математическое моделирование технологического процесса в цветной металлургии"	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2	<p>Примерные вопросы для защиты курсовой работы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физико-химические основы моделируемого технологического процесса.</li> <li>2. Основные принципы моделирования процесса.</li> <li>3. Критерии оценки адекватности полученной модели.</li> <li>4. Устройство и принцип работы основного технологического аппарата.</li> <li>5. Используемые показатели и критерии сходимости модели и эксперимента.</li> <li>6. Обоснование принципа и выбора описательной модели процесса.</li> <li>7. Алгоритм процесса моделирования технологического процесса.</li> </ol>
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Л.Р. 1 - Основы математического пакета MathCad	УК-2-В1	Ознакомление со средой (пользовательским интерфейсом) MathCad. Принципы работы, алгоритмы, возможности. Изучить способы задания различного типа переменных и функций. Освоить приемы работы с графическим и текстовым редакторами.
P2	Л.Р. 2 - Функции регрессии. Численное решение алгебраических уравнений и систем уравнений в среде MathCad	УК-2-В1;ОПК-4-В1	Решение типовых математических (алгебраических) задач, уравнений и систем уравнений, описывающих технологический процесс с использованием средств пакета программ MathCad. Ознакомится с возможностями математического пакета Mathcad при решении задач регрессионного анализа.



P3	Л.Р. 3 - Решение дифференциальных уравнений и основы программирования в среде Mathcad	УК-2-В1;ОПК-4-В1	Решение типовых математических (дифференциальных или интегральных) задач и уравнений, описывающих технологический процесс с использованием средств пакета программ MathCad. Знакомство с возможностями языка программирования математического пакета Mathcad и основными операторы и приемы программирования в Mathcad
P4	Л.Р. 4 - Определение фазовой диаграммы вещества на основе аналитического уравнения состояния	ОПК-4-В1;УК-2-В1;УК-2-В2	Построение фазовых диаграмм веществ с использованием аналитических (эмпирических, фундаментальных, статистической физики (химии и т.п.) или др.) уравнений состояния или динамики изменения процесса. На основе данных по свойствам вещества в критической точке определить параметры уравнения состояния Ван дер Ваальса. С помощью данного уравнения произвести расчеты фазовой диаграммы и давления насыщенных паров вещества. Построить графически основных зависимостей.
P5	Л.Р. 5 - Моделирование реакций в аппаратах с различной структурой потока	ОПК-4-В1;УК-2-В1;УК-2-В2	Построение математических зависимостей, описывающих особенности гидродинамической обстановки в аппаратах гидрометаллургии, особенности протекания химического процесса или принципов работы технологического аппарата. Для различных моделей структуры потока составить математическую модель протекающих в аппарате химических реакций. На основе полученных моделей провести моделирование работы реактора. Представить результаты оценки эффективности для различных вариантов аппарата графически (в виде зависимости селективности и степени превращения от времени пребывания в аппарате).
P6	Л.Р. 6 - Определение условий фазовых равновесий пар-жидкость идеальных растворов	ОПК-4-В1;УК-2-В2;УК-2-В1	Построение математических зависимостей и графического представления фазовых равновесий в системе пар-жидкость для идеальных растворов. На основе экспериментальных данных по давлению насыщенных паров чистых компонентов определить условия фазовых равновесий пар-жидкость бинарной идеальной смеси при различных термодинамических условиях. Представить результаты в виде диаграмм фазового равновесия ( $y-x$ ; $P-x$ , $y$ ; $T-x$ , $y$ ).
P7	Л.Р. 7 - Определение коэффициентов активности по экспериментальным данным фазового равновесия пар-жидкость	ОПК-4-В1;УК-2-В2;УК-2-В1	Определить на основе данных по фазовому равновесию пар-жидкость бинарных смесей коэффициенты активности, используя уравнение Маргулеса. На основе полученных параметров уравнения Маргулеса и закона Рауля провести моделирование фазового равновесия бинарной смеси. Сравнить полученные результаты графически (диаграммы $y-x$ ; $P-x$ , $y$ ).
P8	Л.Р. 8 - Моделирование процесса ректификации бинарной смеси в тарельчатой колонне	ОПК-4-В1;УК-2-В1;УК-2-В2	Составить математическую модель процесса ректификации бинарной смеси в тарельчатой колонне. На ее основе разработать алгоритм численного решения и, используя язык программирования Mathcad, провести моделирование колонны.
P9	Л.Р. 9 - Проектный и поверочный расчет абсорбера	ОПК-4-В1;УК-2-В1;УК-2-В2	Для заданной модели структуры потока по жидкой и газовой фазам составить математическую модель процессов физической и химической абсорбции. На основе полученных моделей провести моделирование данных процессов в абсорбере, заполненном насадочными контактными элементами. Представить результаты в графическом виде (в виде кривых равновесия и изменения концентрации абсорбтива по высоте аппарата в газовой и жидкой фазах).

P10	Курсовая работа "Математическое моделирование технологического процесса в цветной металлургии"	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2	<p>Примерные темы курсовой работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Моделирование процесса извлечения сопутствующих компонентов при кислотной обработке золотосодержащего лома</li> <li>- Разработка математической моделирование процесса обжига медно-никелевого концентрата в печах кипящего слоя</li> <li>- Компьютерное моделирование автоматического расчета материальных потоков технологии производства глинозема по способу Байера</li> <li>- Моделирование процесса хлорирования титановых шлаков в печах кипящего слоя</li> <li>- Разработка математической моделирование процесса разложения танталита-колумбита плавиковой кислотой</li> <li>- Компьютерное моделирование автоматического расчета теплового баланса электролизной ванны для рафинирования меди</li> <li>- Математическое моделирование и оптимизация процесса получения гидроксохлорида алюминия</li> </ul>
P11	П.Р. 1 - Основные виды математических моделей процессов получения металлов	УК-2-У1;УК-2-У2	Виды и способы построения основных математических моделей применительно к металлургии. Методы статистической оценки связи между параметрами технологических процессов. Стохастическое моделирование технологических процессов.
P12	П.Р. 2 - Уравнения материального баланса для гомогенных систем	ОПК-4-В1;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2	Математическая модель реактора идеального смешения. Математическая модель реактора идеального вытеснения. Исследование химического процесса, протекающего в гомогенном реакторе идеального смешения. Исследование химического процесса, протекающего в реакторе идеального вытеснения в стационарном режиме
P13	П.Р. 3 - Уравнения материального баланса для гетерогенных систем	УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2	Математическое моделирование массообменных процессов. Математическое моделирование кинетики химических реакций. Основные понятия химической кинетики. Моделирование кинетики гомогенных и гетерогенных химических реакций
P14	П.Р. 4 - Критерии оптимального управления технологическим процессом	УК-2-У1;УК-2-У2	Методы оптимизации в металлургии: понятия и определения. Систематизация методов оптимизации. Статистические методы оптимизации. Аналитические методы. Оптимизация реактора идеального смешения. Задача поиска оптимального значения параметра химического процесса. Численные методы решения оптимизационных задач

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

По курсу предусмотрен зачет с оценкой.

Оценка проставляется по итогам написания контрольной работы и плановой работы в семестре. Варианты контрольной состоят из 3-х вопросов. Примерные вопросы приведены в разделе "Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену, а также устным и письменным опросам обучающихся". Формируются из принципа проверки знаний по уровню Знать, Уметь, Владеть. Один вопрос на каждый уровень.

#### **5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)**

Оценка «отлично» - обучающийся показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу.

Оценка «хорошо» - обучающийся показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно» - обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;

Оценка «неудовлетворительно» - обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «не явка» – обучающийся на экзамен не явился.

Курсовая работа оценивается отдельно от общей дисциплины.

По результатам защиты курсовой работы выставляется оценка: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» или «не явка».

Оценка «отлично» выставляется при условии, что:

- работа выполнена самостоятельно, носит творческий характер, возможно содержание элементов научной новизны;
- собран, обобщен и проанализирован достаточный объем литературных источников;
- при написании и защите проекта обучающимся продемонстрирован высокий уровень развития общекультурных и профессиональных компетенций, теоретические знания и наличие практических навыков;
- работа хорошо оформлена и своевременно представлена на кафедру, полностью соответствует требованиям, предъявляемым к содержанию и оформлению курсовых проектов;
- на защите освещены все вопросы исследования, ответы обучающихся на вопросы профессионально грамотны, исчерпывающие, результаты исследования подкреплены статистическими критериями;

Оценка «хорошо» ставится, если:

- тема работы раскрыта, однако выводы и рекомендации не всегда оригинальны и / или не имеют практической значимости, есть неточности при освещении отдельных вопросов темы;
- собран, обобщен и проанализирован необходимый объем литературы, но не по всем аспектам исследуемой темы сделаны выводы и обоснованы практические рекомендации;
- при написании и защите работы обучающихся продемонстрирован средний уровень развития общекультурных и профессиональных компетенций, наличие теоретических знаний и достаточных практических навыков;
- работа своевременно представлена на кафедру, есть отдельные недостатки в его оформлении;
- в процессе защиты работы были неполные ответы на вопросы.

Оценка «удовлетворительно» ставится, когда:

- тема работы раскрыта частично, но в основном правильно, допущено поверхностное изложение отдельных вопросов темы;
- в работе недостаточно полно была использована литература, выводы и практические рекомендации не отражали в достаточной степени содержание работы;
- при написании и защите работы обучающиеся продемонстрирован удовлетворительный уровень развития общекультурных и профессиональных компетенций, поверхностный уровень теоретических знаний и практических навыков;
- проект своевременно представлен на кафедру, однако не в полном объеме по содержанию и / или оформлению соответствует предъявляемым требованиям;
- в процессе защиты выпускник недостаточно полно изложил основные положения работы, испытывал затруднения при ответах на вопросы.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если:

- содержание работы не раскрывает тему, вопросы изложены бессистемно и поверхностно, нет анализа практического материала, основные положения и рекомендации не имеют обоснования;
- работа не оригинальна,
- при написании и защите работы обучающимся продемонстрирован неудовлетворительный уровень развития общекультурных и профессиональных компетенций;
- работа несвоевременно представлена на кафедру, не в полном объеме по содержанию и оформлению соответствует предъявляемым требованиям;
- на защите обучающийся показал поверхностные знания по исследуемой теме, отсутствие представлений об актуальных проблемах по теме работы, плохо отвечал на вопросы.

Оценка «не явка» – проект не сдал и на его защиту не явился.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **6.1. Рекомендуемая литература**

#### **6.1.1. Основная литература**

Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
---------------------	----------	------------	-------------------

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Касаткин А. Г.	Основные процессы и аппараты химической технологии	Электронная библиотека	Москва: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1961
Л1.2	Масина О. Н.	Решение задач теории вероятностей и математической статистики в пакете Mathcad: учебно-методическое пособие	Электронная библиотека	Елец: Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2007
Л1.3	Волкова В. Н., Горелова Г. В., Козлов В. Н., Лыпарь Ю. И., Паклин Н. Б.	Моделирование систем: подходы и методы: учебное пособие	Электронная библиотека	Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2013
Л1.4	Зариковская Н. В.	Математическое моделирование систем: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014
Л1.5	Советов Б. Я., Яковлев С. А.	Моделирование систем. Практикум: учеб. пособие для бакалавров	Библиотека МИСиС	М.: Юрайт, 2012
Л1.6	Касаткин А. Г.	Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для студ. хим.-технол. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Химия, 1971

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Сырецкий Г. А.	Моделирование систем: практикум	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2011
Л2.2	Афонин В. В., Федосин С. А.	Моделирование систем: учебно-практическое пособие: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ)  Бином. Лаборатория знаний, 2011
Л2.3	Мугаллимова С. Р.	Практические занятия по математическому анализу с использованием MathCad: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва, Берлин: Директ-Медиа, 2014
Л2.4	Дмитриева В. В.	Практикум для семинаров и лабораторных занятий по дисциплине "Моделирование систем управления": учеб. пособие для студ., обуч. по спец. 210100 "Управление и информатика в техн. системах"	Библиотека МИСиС	М.: Горная книга, 2011

#### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Советов Б. Я., Яковлев С. А.	Моделирование систем: Курсовое проектирование: учеб. пособие для студ. вузов по спец. 'Автоматизир. системы управления'	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1988

#### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	eLIBRARY.RU - НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА	<a href="https://elibrary.ru/defaultx.asp?">https://elibrary.ru/defaultx.asp?</a>		
----	--	---	--	--

Э2	Российская государственная библиотека им. В.И. Ленина	<a href="https://www.rsl.ru/">https://www.rsl.ru/</a>
Э3	Государственная публичная научно-техническая библиотека России	<a href="http://www.gpntb.ru/">http://www.gpntb.ru/</a>
Э4	Учебно-методическая литература для студентов	<a href="https://www.studmed.ru/">https://www.studmed.ru/</a>

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.2	Microsoft Office
П.3	LMS Canvas
П.4	Консультант Плюс
П.5	CAD
П.6	MATLAB
П.7	Statistica Base Windows v6

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА - eLIBRARY.RU - <a href="https://elibrary.ru/defaultx.asp?">https://elibrary.ru/defaultx.asp?</a>
И.2	Российская государственная библиотека им. В.И. Ленина - <a href="https://www.rsl.ru/">https://www.rsl.ru/</a>
И.3	Государственная публичная научно-техническая библиотека России - <a href="http://www.gpntb.ru/">http://www.gpntb.ru/</a>
И.4	Справочно-правовая система (СПС) «Консультант Плюс» - <a href="https://cons-plus.ru/">https://cons-plus.ru/</a>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Читальный зал №4 (Б)		комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
К-541	Учебная аудитория/Лабораторная:	проектор с экраном, доска маркерная, монитор, системный блок; реактор высокого давления Pollux; печь муфельная ТЕРМИКС; мешалка лабораторная ИКА, комплект учебной мебели
К-541	Учебная аудитория/Лабораторная:	проектор с экраном, доска маркерная, монитор, системный блок; реактор высокого давления Pollux; печь муфельная ТЕРМИКС; мешалка лабораторная ИКА, комплект учебной мебели
К-541	Учебная аудитория/Лабораторная:	проектор с экраном, доска маркерная, монитор, системный блок; реактор высокого давления Pollux; печь муфельная ТЕРМИКС; мешалка лабораторная ИКА, комплект учебной мебели
Любой корпус Компьютерный класс	Учебная аудитория для проведения практических занятий:	экран, проектор, доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест, персональные компьютеры, доступ к ЭИОС университета LMS Canvas, лицензионные программы MS Teams, MS Office
Любой корпус Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

1. Лекции проводятся с использованием компьютерной презентационной программы PowerPoint.
2. Консультации по курсу проводятся с использованием e-mail, средств LMS CANVAS И и при личной явке.