

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

**Руководитель ОПОП ВО
В.Н. Бричкин**

**Проректор по образовательной
деятельности доцент Д.Г. Петраков**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Уровень высшего образования:	Магистратура
Направление подготовки:	22.04.02 Металлургия
Направленность (профиль):	Металлургия цветных металлов
Квалификация выпускника:	магистр
Форма обучения:	очная
Составитель:	профессор Г.В. Петров

Санкт-Петербург

Рабочая программа дисциплины «Моделирование и оптимизация технологических процессов» разработана:

– в соответствии с требованиями ФГОС ВО магистратура по направлению подготовки «22.04.02 Metallургия», утвержденного приказом Минобрнауки России №308 от 24 апреля 2018 г.;

– на основании учебного плана магистратуры по направлению подготовки «22.04.02 Metallургия» направленность (профиль) «Metallургия цветных металлов».

Составитель _____ профессор Г.В. Петров

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Metallургия» от 27.01.2022., протокол № 12.

Заведующий кафедрой metallургии _____ д.т.н., проф. В.Н. Бричкин

Рабочая программа согласована:

Начальник управления учебно-методического обеспечения образовательного процесса _____ к.т.н. Иванова П.В.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

– освоение магистрантами вопросов моделирования и оптимизации сложных технологических процессов, для решения вопросов, возникающих при осуществлении производственно-технологической, научно-исследовательской и проектной деятельности в металлургии.

Основные задачи дисциплины:

– дать знания магистрантам о понятии математической модели и общих принципах ее построения; о проведении вычислительного эксперимента и оценке адекватности моделей; применении численных методов для анализа и расчета процессов, протекающих при производстве и обработке металлов и сплавов; о методах решения сопряженных задач; постановке и путях решения оптимизационных задач.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Моделирование и оптимизация технологических процессов» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки «22.04.02 Металлургия (уровень магистратуры)» и изучается во 2 семестре.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Моделирование и оптимизация технологических процессов» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в отрасли металлургии и смежных областях	ОПК-5	ОПК-5.2. Осуществлять моделирование объектов и процессов, а также исследовать применение новейших технологий.
		ОПК-5.4. Знать предмет исследования, методы отбора и обработки информации, связанные с численными расчетами, обобщением, систематизацией и классификацией данных.
		ОПК-5.5. Уметь оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований по совокупности признаков, обосновывать выбор оптимального решения, систематизируя и обобщая достижения в отрасли металлургии, металлообработки и смежных областях.
		ОПК-5.6. Владеть способами поиска и сбора данных об объекте исследования из библиотечных каталогов, Интернета, иных источников информации, методами сопоставления и сравнения отдельных сторон и характеристик объектов и процессов, классификации их, по определённым значениям и систематизации данных по признакам сходства и отличия.

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя знания в области моделирования, математики, естественных и прикладных наук	ПКС-4.	ПКС-4.1. Знать моделирование процессов и объектов в металлургии компьютеризированными методами ПКС-4.2. Уметь связывать технологические процессы и объекты металлургического производства со свойствами металлов, сырья и расходных материалов ПКС-4.3. Владеть решением задач, связанных с моделированием состава структуры и свойств металла и процессов их формирования

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 ак. часа.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		2
Аудиторные занятия, в том числе:	54	54
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Самостоятельная работа (всего)	54	54
Подготовка к практическим занятиям	54	54
Подготовка к лабораторным занятиям	-	-
Вид аттестации (экзамен - Э)	36	36
Общая трудоемкость дисциплины	ак. час зач. ед.	144 4

4.2 Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: практические занятия и самостоятельная работа.

4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование раздела дисциплины	Виды занятий				
	Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студента
Раздел 1. «Понятие математической модели. Общие принципы и этапы построения математической модели»	18	2	6	-	10

Раздел 2. «Применение численных методов для анализа и расчета процессов, протекающих при производстве и обработке металлов и сплавов»	20	4	6	-	10
Раздел 3. «Методы изучения статических и динамических характеристик процесса»	22	4	8	-	10
Раздел 4. «Методы моделирования металлургических процессов и решения сопряженных задач»	22	4	8	-	10
Раздел 5. «Оптимизация технологических процессов»	26	4	8	-	14
Итого:	108	18	36	-	54

4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость в ак. часах
1	Понятие математической модели. Общие принципы и этапы построения математической модели.	Основные понятия и определения. Предмет дисциплины. Анализ и сопоставление методов исследования технологических процессов. Общие принципы построения модели процесса. Блочный принцип описания объекта исследований. Применение типовых операторов для описания объекта исследований. Типы моделей. Методы проверки адекватности модели и объекта и ее коррекция	2
2	Применение численных методов для анализа и расчета процессов, протекающих при производстве и обработке металлов и сплавов	Модели материальных и тепловых балансов металлургических процессов. Принципы составления материальных и тепловых балансов металлургических процессов. Анализ материальных балансов	4
3	Методы изучения статических и динамических характеристик процесса.	Экспериментальные исследования с применением трассеров или индикаторов. Диагностика неполадок и отклонений в режимах работы исследуемого аппарата.	4
4	Методы моделирования металлургических процессов и решения сопряженных задач.	Физическое моделирование. Аналоговое моделирование. Математическое моделирование. Структурные модели. Эмпирические модели.	4
5	Оптимизация технологических процессов	Формулирование задачи оптимизации. Математические модели как основа оптимизации технологических процессов. Оптимизация методом дифференциального исчисления. Поиск оптимума численными методами. Экспериментальный поиск	4

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость в ак. часах
		оптимума.	
Итого:			18

4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 1	Планирование эксперимента с качественными факторами. Множественный ранговый способ Дункана	6
2	Раздел 2	Априорное ранжирование факторного пространства технологического объекта	6
3	Раздел 3	Дисперсионный анализ	8
4	Раздел 4	Корреляционный анализ	8
5	Раздел 5	Определение аппроксимирующей зависимости $Y=f(x)$ с использованием метода наименьших квадратов	8
Итого:			36

4.2.4. Лабораторные работы – лабораторные работы не предусмотрены.

4.2.5. Курсовые работы (проекты) – курсовые работы (проекты) не предусмотрены.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе дисциплины «Моделирование и оптимизация технологических процессов» широко используются следующие образовательные технологии:

Практические занятия. Цели практических занятий:

-совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

Консультации (текущая консультация, накануне экзамена) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ.

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1. Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

Раздел 1. Понятие математической модели. Общие принципы и этапы построения математической модели

1. Анализ и сопоставление методов исследования технологических процессов.
2. Общие принципы построения модели процесса.
3. Блочный принцип описания объекта исследований.
4. Применение типовых операторов для описания объекта исследований.
5. Типы моделей.
6. Методы проверки адекватности модели и объекта и ее коррекция.

Раздел 2. Применение численных методов для анализа и расчета процессов, протекающих при производстве и обработке металлов и сплавов

1. Принципы составления материальных и тепловых балансов металлургических процессов.
2. Методы расчета процессов.
3. Методы анализа процессов.
4. Модели материальных балансов металлургических процессов.
5. Модели тепловых балансов металлургических процессов

Раздел 3. Методы изучения статических и динамических характеристик процесса

1. Методы изучения статических характеристик процесса.
2. Методы изучения динамических характеристик процесса.
3. Составление модели процесса при использовании системы дифференциальных уравнений
4. Экспериментальные исследования с применением трассеров или индикаторов.
5. Диагностика неполадок и отклонений в режимах работы исследуемого аппарата.

Раздел 4. Методы моделирования металлургических процессов и решения сопряженных задач

1. Физическое моделирование.
2. Аналоговое моделирование.
3. Математическое моделирование.
4. Структурные модели.
5. Эмпирические модели.

Раздел 5. Оптимизация технологических процессов

1. Математические модели как основа оптимизации технологических процессов.
2. Оптимизация методом дифференциального исчисления.
3. Поиск оптимума численными методами.
4. Экспериментальный поиск оптимума.

6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (экзамена)

6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий к экзамену

1. Назовите основные этапы моделирования.
2. Чем характеризуется физическое моделирование?
3. Чем характеризуется математическое моделирование?
4. Назовите этапы составления математического описания.
5. Что является задачей моделирующего алгоритма?
6. Что понимают под системным анализом процесса?
7. Дайте характеристику модели идеального перемешивания.
8. Дайте характеристику модели идеального вытеснения.
9. Дайте характеристику ячеечной модели аппарата.
10. Дайте характеристику диффузионной модели.
11. Дайте характеристику комбинированной модели.
12. Какая методика является общепринятой методикой определения параметров моделей по кривым отклика аппарата на ввод трассера в форме различных возмущающих функций?
13. Назовите основные принципы построения кинетических моделей для описания химических превращений.
14. Какими методами нелинейного программирования осуществляют определение кинетических констант сложных реакций?
15. Опишите методику составления уравнений модели с учетом химических превращений и переноса вещества движущимся потоком в аппарате идеального смешения.
16. Приведите расчетную формулу метода Эйлера для численного решения дифференциальных уравнений.
17. К какому методу решения дифференциальных уравнений относится расчетная формула $y_{i+1} = y_i + \frac{\Delta x}{6} f(k_1 + 4k_2 + k_3)$?
18. Что обозначает r_i в уравнении $\frac{dC_i}{d\tau} = \frac{q}{V}(C_{i0} - C_i) + r_i$, описывающем зависимость характеристики потока (C_i) от времени для модели идеального смешения?
19. К какому типу относится модель, являющаяся комбинацией последовательных ячеек идеального смешения?
20. При каком значении m (число ячеек) ячеечная модель переходит в модель идеального вытеснения?
21. Уравнение факторной дисперсии?
22. Что определяется на основании данных параллельных опытов и характеризует равноточность измерения во всех опытах?
23. К какому типу процессов относится выражение $pV^n = const$?
24. При составлении модели технологической схемы для разделения элементов в системе $\sum_{i=1}^n T_i, \Gamma$ может быть применен процесс?
25. Математическая модель, воспроизводящая поведение процессов во времени?
26. Какой критерий является мерой отношения сил инерции, характеризующихся скоростью, к силам внутреннего трения, характеризующихся вязкостью?
27. Мера первоначальной неопределенности объекта, зависящая от числа возможных его состояний и от вероятностей этих состояний?
28. Что является основным недостатком оценки дисперсии воспроизводимости опыта с помощью критерия Фишера?

29. Отношение общей суммы квадратов отклонений величины Y от общей средней \bar{y} к числу степеней свободы?

30. Какой гидрометаллургический процесс может быть использован для разделения элементов при данной характеристике фазового состояния системы $\sum_{i=1}^n \mathcal{J}_i$?

6.2.2. Примерные тестовые задания к экзамену

Вариант 1

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Принципиальное отличие метода оптимизации Бокса-Уилсона от метода Гаусса-Зайделя заключается в:	1. аппроксимации части поверхности отклика плоскостью; 2. пошаговом сканировании поверхности отклика; 3. линейаризации поверхности; 4. использовании ПФЭ 2 ³ .
2.	В иерархической структуре модели сложного процесса на уровне частиц малого объема учитываются:	1. явления массо- и теплопереноса; 2. особенности химической кинетики; 3. характеристики движения потоков; 4. взаимное расположение рабочих зон аппарата.
3.	При описании движения потока жидкости с помощью детерминированной математической модели используется уравнение сплошности в виде $\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \text{div}(\rho v) = I$. Какие явления учитываются в правой части уравнения?	1. химические и фазовые превращения; 2. вязкость жидкости; 3. температура жидкости; 4. скорость жидкости.
4.	В чем недостаток данного варианта требований минимизации отклонений $\left \sum_{i=1}^n \Delta y_i \right = \min$	1. не учтена форма пространства отклика; 2. не учтен знак отклонений; 3. сложно дифференцировать модуль; 4. не учитывает возможную компенсацию отклонений.
5.	К какому процессу относится данная характеристика фазового состояния $\sum_{i=1}^n T_i$:	1. магнитная сепарация; 2. флотоэкстракция; 3. выщелачивание; 4. сорбция.
6.	Что подразумевается под понятием «математическое ожидание величины y »:	1. среднее значение; 2. отклонение от среднего значения; 3. вероятность появления; 4. дисперсию.
7.	Модели, представляющие многофазную систему как однородную:	1. одинарные; 2. однофазные; 3. абстрактные; 4. псевдогомогенные.
8.	Взаимоднозначное соответствие между множеством элементов или объектов:	1. изоморфизм; 2. равенство; 3. логичность; 4. идеальность.
9.	Математическая формулировка π -теоремы:	1. $\pi = \Phi(kx + b)$; 2. $\pi = 1/\Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_k)$; 3. $\pi = \Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_{m-k})$;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		4. $\pi = \Phi / (\pi_1, \pi_2, \pi_{m-k})$.
10.	Общепринятое устоявшееся положение науки:	1. парадокс; 2. идея; 3. гипотеза; 4. парадигма.
11.	Что описывает формула $Y = m_y + r_{yx} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (X - m_x)$;	1. нелинейную зависимость; 2. линейную зависимость; 3. множественную зависимость; 4. дисперсионную зависимость.
12.	Тип абстракции как метод научного исследования:	1. обобщение; 2. синтез; 3. гипотеза; 4. идеализация.
13.	Свойство модели:	1. гипотетичность; 2. конгруэнтность; 3. изомерность; 4. изоморфность.
14.	Способ моделирования:	1. геометрическое; 2. дифференциальное; 3. интегральное; 4. физическое.
15.	Технологические задачи, относящиеся к 2-му типу:	1. изменение физического состояния; 2. синтез соединений; 3. разделение элементов; 4. формирование иерархии.
16.	Метод, применяемый для решения технологической задачи диспергации кусковых материалов:	1. термическая декриптация; 2. прессование; 3. порошковая металлургия; 4. грануляция.
17.	Соотношение подобия:	1. $P_i / R_i = m_i$; 2. $P_i R_i = m_i$; 3. $P_i \lg R_i = m_i$; 4. $P_i = R_i$.
18.	К какому подклассу технологических задач относятся процессы плавления:	1. получение компактных металлов и сплавов; 2. диспергация; 3. окускование; 4. синтез товарных продуктов.
19.	Какие технологические задачи являются доминирующими в металлургии:	1. разделение элементов; 2. синтеза; 3. изменения физического состояния; 4. гомогенизации.
20.	Метод, применяемый для решения задачи создания градиента концентрации в пространственных координатах:	1. электродиализ; 2. газовая диффузия; 3. зонная плавка; 4. хроматография.

Вариант 2

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Принцип разделения элементов в гетерогенных системах:	1. направленное формирование фаз требуемого состава; 2. скачкообразное изменение концентрации; 3. конденсация; 4. модуляция.
2.	Метод, применяемый для разделения элементов в многофазной системе при характеристике фазового состояния $\sum_{i=1}^n T_i, \Gamma$:	1. плавка; 2. селективное выщелачивание; 3. сублимация; 4. фьюмингование.
3.	Характеристика фазового состояния в ректификационном процессе:	1. $\sum_{i=1}^n \mathcal{J}_i, \Gamma$; 2. $\sum_{i=1}^n \mathcal{J}_i$; 3. $\sum_{i=1}^n T_i, \Gamma$; 4. $\sum_{i=1}^n T_i, \sum_{j=1}^m \mathcal{J}_j, \Gamma$.
4.	Меры, способствующие приближению фаз к равновесным составам в случае наличия кинетической инертности соединений:	1. временная выдержка; 2. лабилизация; 3. репульпация; 4. стабилизация.
5.	Метод, используемый при разделении фаз в неравновесных системах:	1. концентрирование в промежуточном продукте; 2. повышение температуры; 3. достижение равновесия; 4. катализ.
6.	Принцип решения технологических задач высших диапазонов (создание технологических схем) при разделении элементов:	1. повышение уровня неопределенности задачи; 2. конкретизация задачи; 3. абстрагирование; 4. диверсификация.
7.	Свойство системы, характеризующееся количеством работы, которая может быть получена внешним приемником энергии при обратимом взаимодействии с окружающей средой до установления равновесия:	1. энтальпия; 2. работа; 3. теплота; 4. эксергия.
8.	Критерия оптимального числа стадий разделения элементов:	1. $S=(n-1)/(f-1)+a$; 2. $S=n-1/f$; 3. $S=(n+1)/(f-1)+a$; 4. $S=n(f-1)/a$.
9.	Методика снижения неопределенности технологической задачи при создании схемы переработки минерального сырья:	1. «обратной связи»; 2. обобщения; 3. градации; 4. «прямых аналогий».
10.	Отношение максимальной дисперсии D_{y_0} к сумме всех дисперсий в N опытных точках:	1. критерий Фишера; 2. коэффициент аппроксимации; 3. критерий Кохрена; 4. коэффициент экстраполяции.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
11.	Оценка значимости коэффициентов в аппроксимирующей зависимости (критерий Стьюдента):	<ol style="list-style-type: none"> $t_l = \frac{ a_l }{\sigma_{a_l}}$; $t_l = \frac{a_l}{\sigma_{a_l}}$; $t_l = \frac{ a_l }{\sigma_{a_l}} l$; $t_l = a_l _{a_l}$.
12.	Оптимизация последовательным перебором всех допустимых уровней факторов:	<ol style="list-style-type: none"> покоординатное восхождение; сканирование; крутое восхождение; симплекс-метод.
13.	С помощью какого метода анализа устанавливается существенность влияния фактора на исследуемую величину:	<ol style="list-style-type: none"> дисперсионный; аналоговый; тестовый; корреляционный.
14.	Установление сходства в некоторых сторонах, качествах и отношениях между нетождественными объектами:	<ol style="list-style-type: none"> тождество; равенство; аналогия; подобие.
15.	Синоним эмпирического подхода к анализу объекта:	<ol style="list-style-type: none"> стохастический; детерминистический; традиционный; силлогический.
16.	Обозначение плана полного 3-х факторного эксперимента:	<ol style="list-style-type: none"> 2^3; $3n_i^2$; $2n_i^3$; $1/2 (2^4)$.
17.	Метод выявления существенности факторов:	<ol style="list-style-type: none"> аксиоматичное ранжирование; априорное ранжирование; градация; иерархия.
18.	Традиционный диапазон изменения уровня значимости:	<ol style="list-style-type: none"> 0,01-0,1; 0-1; 0-100; -1 - (+1).
19.	Математическое выражение метода наименьших квадратов:	<ol style="list-style-type: none"> $\sum_{i=1}^n (y_i)^2 = \min$; $\sum_{i=1}^n (y_i - 1)^2 = \min$; $\sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2 = \min$; $\sum_1^n (\Delta y_i)^2 = \min$.
20.	Определение степени согласованности при ранжировании факторного пространства с помощью коэффициента:	<ol style="list-style-type: none"> конкордации; релаксации; индукции; корреляции.

Вариант 3

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Условие нормировки для П.Ф.Э. типа 2^k :	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\sum_{i=1}^N x_{iu} = N$; 2. $\sum_{i=1}^N x_{iu}^2 = N$; 3. $\sum_{i=1}^N x_{iu}^2 = N - k$; 4. $\sum_{i=1}^N x_{iu}^2 = N / k$.
2.	Математическое выражение критерия Фишера при его использовании в дисперсионном анализе:	<ol style="list-style-type: none"> 1. $F = 1 / D_{y_\phi}$; 2. $F = D_{y_\phi} / D_{y_0}$; 3. $F = D_{y_\phi} D_{y_0}$; 4. $F = 1 - D_{y_\phi} / D_{y_0}$.
3.	Что характеризует остаточная сумма квадратов отклонений величины Y от ее среднего значения в каждом опыте:	<ol style="list-style-type: none"> 1. факторную дисперсию; 2. общее рассеяние; 3. межгрупповое рассеяние; 4. внутригрупповое рассеяние.
4.	Что обозначает a в выражении оптимального числа стадий разделения элементов $S = (n-1)/(f-1) + a$:	<ol style="list-style-type: none"> 1. полупродуктов; 2. компонентов; 3. фаз; 4. концентратов.
5.	Математическое выражение коэффициента корреляции между величинами Y и X:	<ol style="list-style-type: none"> 1. $R_{yx} = (\sigma_x \sigma_y) k_{yx}^2$; 2. $R_{yx} = 1 / k_{yx} \sigma_x \sigma_y$; 3. $R_{yx} = (\sigma_x \sigma_y) k_{yx}$; 4. $R_{yx} = k_{yx} / \sigma_x \sigma_y$.
6.	Свойство матрицы планирования, свидетельствующее о некоррелированности факторов:	<ol style="list-style-type: none"> 1. оптимальность; 2. ортогональность; 3. пассивность; 4. статичность.
7.	Обозначение 1/8 реплики от П.Ф.Э. 2^7 :	<ol style="list-style-type: none"> 1. 2^{7-3}; 2. $8/2^7$; 3. пассивность; 4. $1/2 (2^4)$.
8.	Для каких процессов кинетика химической реакции описывается уравнением $R = \frac{1}{V} dG / dt$, G – масса реагента в единице объема V:	<ol style="list-style-type: none"> 1. гетерогенных; 2. гомогенных; 3. химических; 4. гидравлических.
9.	К какой модели движения потоков (газ, жидкость, твердое) относится уравнение $\frac{dt}{d\tau} = \frac{q}{V} (t_0 - t)$:	<ol style="list-style-type: none"> 1. идеального вытеснения; 2. диффузионной; 3. идеального смешения; 4. физической.
10.	Какая модель основана на принципе равномерного движения потока без перемешивания в продольном направлении:	<ol style="list-style-type: none"> 1. идеального вытеснения; 2. идеального смешения; 3. поршневой; 4. диффузионной.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
11.	Как называется модель идеального вытеснения, осложненная обратным перемешиванием:	1. псевдоидеального вытеснения; 2. диффузионной; 3. псевдогомогенной; 4. ячеечной.
12.	Каким промышленным аппаратам наиболее точно соответствует диффузионная модель движения потока:	1. барботажные устройства; 2. экстракционные колонки; 3. аппараты КС; 4. фильтры.
13.	Эксперимент, проводимый на основе статистического планирования:	1. пассивный; 2. статистический; 3. непрерывный; 4. активный.
14.	Как называется диффузионная модель, если при ее построении учитывается только продольное перемешивание:	1. непараметрическая; 2. двухпараметрическая; 3. продольно-диффузионная; 4. однопараметрическая.
15.	К какой модели структуры потока относится зависимость $\frac{\partial c_i}{\partial \tau} = -v \frac{dc_i}{dl}$:	1. идеального вытеснения; 2. идеального смешения; 3. диффузионной; 4. ячеечной.
16.	Для разработки какого типа моделей используется принцип «черного ящика»:	1. стохастических; 2. статических; 3. детерминированных; 4. абстрактных.
17.	К какому типу относятся системы, в которых в одной области протекают процессы различной природы:	1. идеальные; 2. с сосредоточенными параметрами; 3. псевдопараметрические; 4. с распределенными параметрами.
18.	Дифференциальная модель процесса нагрева слитка в термической печи имеет вид:	1. $\frac{dt}{d\tau} = \frac{\alpha F}{Vc\rho}(t_n - t)$; 2. $\frac{dC}{d\tau} = \frac{\alpha F}{Vc\rho}(t_n - t)$; 3. $\frac{dC}{d\tau} = \frac{\alpha S}{Vc\rho}(t_n - t)$; 4. $\frac{dt}{d\tau} = \frac{F}{Vc\rho}(t_n - t)$.
19.	Какой метод проверки адекватности модели основан на преобразовании теоретического выражения в уравнение прямой линии:	1. корреляции; 2. симплекс-метод; 3. оптимизации; 4. линеаризации.
20.	Назовите линеаризованное уравнение для выражения $z = k \exp(-mt)$:	1. $\ln z = \ln k - 1/mt$; 2. $\ln z = 1/\ln k - mt$; 3. $\ln z = \ln k - mt$; 4. $\ln k = \ln z - mt$.

6.2.3. Критерии оценок промежуточной аттестации (экзамен)

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 60 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 70 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 85 % лекционных и практических занятий
Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Иногда находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Безошибочно находит решения предусмотренных программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-50	Неудовлетворительно
51-65	Удовлетворительно
66-85	Хорошо
86-100	Отлично

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

7.1. Основная литература

1. Планирование и организация эксперимента: учеб.-метод. комплекс / сост. И.Е. Ушаков. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2010. 229 с.

2. Власов К.П. Методы научных исследований и организации эксперимента: Учеб. пособие / Ред. А.А. Гальнбек; С.-Петерб. гос. горн. ин-т. Каф. печей, контроля и автоматизации металлургического производства. СПб.: СПГГИ, 2000. 116 с.

3. Основы научной работы и методология диссертационного исследования: монография / Г.И. Андреев и др. Москва: Финансы и статистика, 2012. 296 с.

<https://e.lanbook.com/book/28348>

4. Грейвер Т.Н. Основы методов постановки и решения технологических задач цветной металлургии. М.: ГУП Изд. дом "Руда и металлы", 1999. 147 с.

5. Протосеня А.Г. Методы вычислений и ЭВМ в задачах металлургического и обогатительного производства: Учеб. пособие / Науч. ред. А.Г. Протосеня; Ленингр. горн. ин-т. Л.: ЛГИ, 1988. 102 с.

7.2. Дополнительная литература

1. Введение в управление технологиями: учеб. пособие / сост. П.А. Петров; науч. ред. Ю. В. Шариков. СПб.: Art-Xpress, 2015. 66 с.

http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%D0%90%2088946%2F%D0%92%2024%2D929524889<.>

2. Шариков Ю.В. Моделирование процессов и объектов в химических технологиях: учеб. пособие / Ю. В. Шариков. СПб. : Горн. ун-т, 2015. 145 с.

http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D096995<.>

3. Протосеня А.Г. Выбор оптимального варианта технологии металлургического процесса: Учеб. пособие / Науч. ред. Е.И. Азбель; Ленингр. горн. ин-т. Л.: ЛГИ, 1985. 71 с.

7.3. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>

2. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>

3. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru>

4. Поисковые системы Yandex, Google, Rambler, Yahoo и др.

5. Портал металлургической отрасли: <http://www.infogeo.ru>

6. Термодинамические базы данных: <http://www.factsage.com>,
<http://www.chem.msu.su/rus/handbook/ivtan>

7. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»:

<https://e.lanbook.com/books>

8. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ):

9. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>

10. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» www.biblio-online.ru.

11. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Рукопт»»: <http://rucont.ru>

12. Электронно-библиотечная система «SciTecLibrary»: <http://www.sciteclibrary.ru>

7.4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

1. Моделирование и оптимизация технологических процессов: Методические указания к практическим занятиям [Электронный ресурс] / Сост. Г.В. Петров. СПб., 2018. 20 с.

http://ior.spmi.ru/system/files/pr/pr_1543182552.pdf

2. Моделирование и оптимизация технологических процессов: Методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс] / Сост. Г.В. Петров. СПб., 2018. 8 с.

http://ior.spmi.ru/system/files/srs/srs_1543182552.pdf

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий

Специализированная аудитория, используемая при проведении лекционных и практических занятий, оснащена мобильным интерактивным комплексом, позволяющим демонстрировать текстовые и графические материалы.

Мебель: стол Canvaro ASSMANN – 16 шт., компьютерное кресло 7873 A2S – 1 шт., стул 7874 A2S – 30 шт., доска белая Magnetoplan C2000x1000 мм, эмал.покрыт, магн/марк,

12 409 СС – 1 шт., тканевая перегородка с рейлингом под систему навесных аксессуаров Vitaco ASSMANN – 1 шт.

Компьютерная техника: мобильный интерактивный комплекс – 1 шт.

8.2. Помещения для самостоятельной работы

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: ГК № 1464-12/10 от 15.12.10 «На поставку компьютерного оборудования», ГК № 959-09/10 от 22.09.10 «На поставку компьютерной техники», ГК № 447-06/11 от 06.06.11 «На поставку оборудования», ГК № 984-12/11 от 14.12.11 «На поставку оборудования», Договор № 1105-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования», Договор № 1106-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования», ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции», Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011,

Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012

Kaspersky antivirus 6.0.4.142

8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

8.4. Лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 «На поставку компьютерной техники»)

2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007)

3. Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, договор бессрочный Microsoft Open License 47665577 от 10.11.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011)