

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 Metallurgy
Направленность (профиль):	Теплотехника металлургических процессов
Квалификация выпускника:	магистр
Форма обучения:	очная
Составитель:	профессор Петров Г.В.

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) «Теплотехника металлургических процессов».

Составитель _____ профессор Г.В. Петров

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

Заведующий кафедрой металлургии _____ 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:

– усвоение магистрантами современных методов моделирования и оптимизации, применяемых в металлургии, позволяющих решить задачи оптимального выбора сырья, материалов, оборудования, технологических режимов основных металлургических процессов.

Основные задачи дисциплины:

– изучение вопросов моделирования и оптимизации металлургических процессов;
– овладение методами моделирования, а также использование этих методов при организационно-управленческой деятельности;
– формирование представлений о сложных металлургических процессах; навыков моделирования; навыков их практического применения; способностей для организационно-управленческой деятельности; мотивации к самостоятельному повышению уровня профессиональных навыков в области моделирования и оптимизации металлургических процессов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Моделирование и оптимизация технологических процессов» относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений 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 организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3	УК-3.1. Знать методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства.
		УК-3.2. Уметь разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию; применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели.
		УК-3.3. Владеть умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом.
Способен применять информационные технологии и	ПКС-4	ПКС-4.1. Знать основы информационных технологий. Пакеты прикладных программ для решения задачи в области профессиональной деятельности

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
прикладные программные средства для решения задачи в области профессиональной деятельности		ПКС-4.2. Уметь применять программное обеспечение и компьютеризированные методы обработки оцифрованных объектов для расчетов и анализа объектов и процессов металлургического производства и металлообработки ПКС-4.3. Владеть решением профессиональных задач в области металлургии и металлообработки с использованием информационных технологий и прикладных программных средств

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 ак. часа.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		2
Аудиторные занятия, в том числе:	45	45
Лекции	9	-
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Самостоятельная работа (всего)	27	27
Подготовка к практическим занятиям	15	15
Подготовка к лабораторным работам	12	12
Вид аттестации (экзамен - Э)	36	36
Общая трудоемкость дисциплины	ак. час зач. ед.	108 3

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. «Введение. Понятие математической модели»	1	1			-
Раздел 2. «Вычислительный эксперимент и адекватность моделей»	9	1	4		4

Наименование раздела дисциплины	Виды занятий				
	Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студента
Раздел 3. «Общие принципы и этапы построения математической модели»	6	1	4		4
Раздел 4. «Применение численных методов для анализа и расчета процессов, протекающих при производстве и обработке металлов и сплавов»	15	1	10		4
Раздел 5. «Методы изучения статических и динамических характеристик процесса»	7	1	2		4
Раздел 6. «Методы моделирования металлургических процессов и решения сопряженных задач»	9	1	4		4
Раздел 7. «Оптимизация технологических процессов»	9	1	4		4
Раздел 8. «Анализ и сопоставление методов исследования технологических процессов»	13	2	8		3
Итого:	72	9	36	-	27

4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Введение. Понятие математической модели	Основные понятия и определения. Предмет дисциплины. Значение моделирования в научных исследованиях и промышленной практике. Содержание дисциплины.	1
2	Вычислительный эксперимент и адекватность моделей	Основы классификация методов исследований. Натурные и модельные исследования. Стадии натурных исследований. Пассивный и активный эксперимент. Физическое и математическое моделирование. Адекватность моделей.	1
3	Общие принципы и этапы построения математической модели	Общие принципы анализа типовых технологических процессов. Общие принципы построения модели процесса. Системный анализ процессов металлургической технологии. Блочный принцип описания объекта исследований. Применение типовых операторов для описания объекта исследований. Типы моделей. Методы проверки адекватности модели и объекта и ее коррекция.	1
4	Применение численных методов для анализа и расчета процессов, протекающих при	Модели материальных и тепловых балансов металлургических процессов. Принципы составления материальных и тепловых балансов металлургических процессов. Анализ материальных балансов.	1

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
	производстве и обработке металлов и сплавов		
5	Методы изучения статических и динамических характеристик процесса	Экспериментальные исследования с применением трассеров или индикаторов. Диагностика неполадок и отклонений в режимах работы исследуемого аппарата.	1
6	Методы моделирования металлургических процессов и решения сопряженных задач	Физическое моделирование. Аналоговое моделирование. Математическое моделирование. Структурные модели. Эмпирические модели.	1
7	Оптимизация технологических процессов	Формулирование задачи оптимизации. Математические модели как основа оптимизации технологических процессов. Оптимизация методом дифференциального исчисления. Поиск оптимума численными методами. Экспериментальный поиск оптимума.	1
8	Анализ и сопоставление методов исследования технологических процессов	Методы исследования функций классического анализа. Метод множителей Лагранжа. Вариационное исчисление. Динамическое программирование. Принцип максимума. Линейное и нелинейное программирование. Геометрическое программирование.	2
Итого:			9

4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 2	Метод наименьших квадратов (МНК)	4
2	Раздел 3	Дисперсионный анализ Корреляционный анализ	4
3	Раздел 4	Применение численных методов для анализа и расчета процессов, протекающих при производстве и обработке металлов и сплавов	10
4	Раздел 5	Методы изучения статических и динамических характеристик процесса	2
5	Раздел 6	Вычисление множественного рангового критерия Дункана	4
6	Раздел 7	Априорное ранжирование факторного пространства технологического объекта	4

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
	Раздел 8	Построение математической модели процесса гальванического получения хромоникелевых покрытий	8
Итого:			36

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. Введение. Понятие математической модели

1. Значение моделирования в научных исследованиях и промышленной практике.
2. Общие принципы построения модели процесса.
3. Блочный принцип описания объекта исследований.
4. Типы моделей.
5. Методы проверки адекватности модели и объекта и ее коррекция.

Раздел 2. Вычислительный эксперимент и адекватность моделей

1. Основы классификация методов исследований.
2. Натурные и модельные исследования.
3. Стадии натурных исследований.
4. Пассивный и активный эксперимент.
5. Физическое и математическое моделирование.
6. Адекватность моделей.

Раздел 3. Общие принципы и этапы построения математической модели

1. Общие принципы анализа типовых технологических процессов.

2. Общие принципы построения модели процесса.
3. Системный анализ процессов металлургической технологии.
4. Блочный принцип описания объекта исследований.
5. Применение типовых операторов для описания объекта исследований.
6. Типы моделей.
7. Методы проверки адекватности модели и объекта и ее коррекция.

Раздел 4. Применение численных методов для анализа и расчета процессов, протекающих при производстве и обработке металлов и сплавов

1. Общие принципы анализа типовых технологических процессов.
2. Общие принципы построения модели процесса.
3. Системный анализ процессов металлургической технологии.
4. Блочный принцип описания объекта исследований.
5. Применение типовых операторов для описания объекта исследований.
6. Типы моделей.
7. Методы проверки адекватности модели и объекта и ее коррекция.

Раздел 5. Методы изучения статических и динамических характеристик процесса

1. Методы изучения статических характеристик процесса.
2. Методы изучения динамических характеристик процесса.
3. Экспериментальные исследования с применением трассеров.
4. Экспериментальные исследования с применением индикаторов.
5. Диагностика неполадок и отклонений в режимах работы исследуемого аппарата.

Раздел 6. Методы моделирования металлургических процессов и решения сопряженных задач

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

Раздел 7. Оптимизация технологических процессов

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

Раздел 8. Анализ и сопоставление методов исследования технологических процессов

1. Методы исследования функций классического анализа.
2. Метод множителей Лагранжа.
3. Вариационное исчисление.
4. Динамическое программирование.
5. Принцип максимума.
6. Линейное и нелинейное программирование.
7. Геометрическое программирование.

6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (экзамена)

6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий к экзамену

1. Что такое модель?
2. Что такое объект?
3. Что такое процесс?
4. Что такое система?
5. Что такое элемент системы?
6. Что такое окружающая среда?
7. Что такое гипотеза?
8. Что такое аналогия?
9. Что такое моделирование?
10. Обозначьте цели моделирования.
11. Назовите принципы моделирования.
12. Перечислите аксиомы моделирования.
13. Что такое математическая модель?
14. Что такое математическое моделирование?
15. Из чего состоит математическая модель?
16. Каковы цели математического моделирования?
17. Назовите виды математических моделей.
18. Что такое аналитическая модель?
19. Что такое эмпирическая модель?
20. Обозначьте преимущества математического моделирования.
21. На чем основано математическое моделирование?
22. Перечислите требования, предъявляемые к математической модели.
23. Назовите основные этапы алгоритма построения аналитической модели.
24. Назовите основные этапы алгоритма построения эмпирической модели.
25. Расскажите о различиях в алгоритмах построения аналитической и эмпирической моделей.
26. Назовите источники априорной информации.
27. Что является результатом анализа априорной информации?
28. Какие требования предъявляются к входным и выходным факторам?
29. Что такое критерий оптимизации? Перечислите виды критериев оптимизации.
30. Что такое ранг?
31. Что такое формализация?
32. Что такое интерпретация?
33. Каким критерием оценивается адекватность модели с одним входным фактором?
34. Что делать, если модель оказывается неадекватной?
35. Как оценивается точность однофакторной модели?
36. Как оценивается адекватность многофакторной линейной регрессионной модели?
37. Какие значения может принимать множественный коэффициент корреляции?
38. Почему при отыскании максимума критерия оптимизации можно перемещаться по градиенту?

6.2.2. Примерные тестовые задания к экзамену

Вариант 1

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Условие нормировки для П.Ф.Э. типа 2^k :	1. $\sum_{i=1}^N x_{ii} = N$;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		2. $\sum_{i=1}^N x_{iu}^2 = N$; 3. $\sum_{i=1}^N x_{iu}^2 = N \cdot k$; 4. $\sum_{i=1}^N x_{iu}^2 = N / k$.
2.	Математическое выражение критерия Фишера при его использовании в дисперсионном анализе:	1. $F = I / D_{y_{\phi}}$; 2. $F = D_{y_{\phi}} / D_{y_0}$; 3. $F = D_{y_{\phi}} \cdot D_{y_0}$; 4. $F = I \cdot D_{y_{\phi}} / D_{y_0}$.
3.	Что характеризует остаточная сумма квадратов отклонений величины Y от ее среднего значения в каждом опыте:	1. факторную дисперсию; 2. общее рассеяние; 3. межгрупповое рассеяние; 4. внутригрупповое рассеяние.
4.	Что обозначает a в выражении оптимального числа стадий разделения элементов $S = (n-1)/(f-1) + a$:	1. полупродуктов; 2. компонентов; 3. фаз; 4. концентратов.
5.	Математическое выражение коэффициента корреляции между величинами Y и X:	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:	1. оптимальность; 2. ортогональность; 3. пассивность; 4. статичность.
7.	Обозначение 1/8 реплики от П.Ф.Э. 2^7 :	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:	1. гетерогенных; 2. гомогенных; 3. химических; 4. гидравлических.
9.	К какой модели движения потоков (газ, жидкость, твердое) относится уравнение $\frac{dt}{d\tau} = \frac{q}{V} (t_0 - t)$:	1. идеального вытеснения; 2. диффузионной; 3. идеального смешения; 4. физической.
10.	Какая модель основана на принципе равномерного движения потока без перемешивания в продольном направлении:	1. идеального вытеснения; 2. идеального смешения; 3. поршневой; 4. диффузионной.
11.	Как называется модель идеального вытеснения, осложненная обратным	1. псевдоидеального вытеснения; 2. диффузионной;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	перемешиванием:	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. $\ln k = \ln z - mt$.

Вариант 2

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3

№ 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. линеаризации 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 учитывается 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 у»	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.	Взаимооднозначное 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. $\pi = I / \Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_k)$; 3. $\pi = \Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_{m-k})$; 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.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
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. окусование; 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 3

№ 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. линеаризации 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.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
3.	При описании движения потока жидкости с помощью детерминированной математической модели используется уравнение сплошности в виде $\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \text{div}(\rho \vec{v}) = I$. 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 у»	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. $\pi = I / \Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_k)$; 3. $\pi = \Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_{m-k})$; 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.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
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.

6.2.3. Критерии оценок промежуточной аттестации (экзамена)

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 60 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 70 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 85 % лекционных, 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

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
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 «Рукоонт»»: <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. С.Б. Фокина. СПб., 2018. 29 с.
http://ior.spmi.ru/system/files/pr/pr_1543192337.pdf
2. Моделирование и оптимизация технологических процессов: Методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс] / Сост. С.Б. Фокина. СПб., 2018. 9 с.
http://ior.spmi.ru/system/files/srs/srs_1543192337.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 Canvago 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 CC – 1 шт., тканевая перегородка с рейлингом под систему навесных аксессуаров Viteco ASSMANN – 1 шт.

Компьютерная техника: мобильный интерактивный комплекс – 1 шт.

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в компьютерном классе.

Мебель: стол Canvago ASSMANN – 10 шт., стул 7875 A2S – 17 шт., доска на колесах – 1 шт., тканевая перегородка с рейлингом под систему навесных аксессуаров Viteco ASSMANN – 1 шт.

Компьютерная техника: моноблок Dell OptiPlex 7470 AIO CTO 23.8" FHDDDR4 8 ГБ – 17 шт., лазерный принтер Xerox Phaser 3610 DN – 17 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)