



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.  
Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
А.С. Савинов

05.02.2026 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИИ***

Направление подготовки (специальность)  
22.03.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы  
Технологии производства и обработки черных металлов и сплавов

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалобработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	4
Семестр	8

Магнитогорск  
2026 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия (приказ Минобрнауки России от 02.06.2020 г. № 702)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
Metallургии и химических технологий  
28.01.2026, протокол № 4

Зав. кафедрой



А.С. Харченко

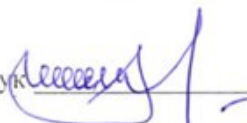
Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ  
05.02.2026 г. протокол № 5

Председатель



А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:  
доцент кафедры кафедры МиХТ, канд. техн. наук



И.В.Макарова

Рецензент:  
доцент кафедры ПиЭММиО, канд. техн. наук



М.В.Андросенко

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2030 - 2031 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

## 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Методы оптимизации в металлургии» является обучение студентов необходимости использования в теории и практике ведения доменной плавки, сталеплавильных процессов, как основы высокой производительности доменных печей, хорошего качества чугуна и низкого удельного расхода кокса на его выплавку при невысокой его себестоимости современных методов нахождения наилучших вариантов работы комплекса металлургических агрегатов и выбора шихтовых материалов.

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Методы оптимизации в металлургии входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Основы металлургического производства  
Анализ числовой информации  
Математика  
Моделирование процессов и объектов в металлургии  
Учебная - научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)  
Планирование эксперимента  
Проектная деятельность  
Эксплуатация доменных печей  
Методы исследования материалов и процессов  
Информатика и информационные технологии  
Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:  
Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена  
Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  
Производственная - преддипломная практика

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Методы оптимизации в металлургии» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-3	Способен выполнять научно-исследовательские задачи в области профессиональной деятельности
ПК-3.1	Решает научно-исследовательские задачи в области металлургии черных металлов
ПК-4	Способен выполнять задачи по оценке сырья и металлургической продукции, корректировать и контролировать производственный процесс
ПК-4.1	Оценивает сырье и металлургическую продукцию, корректирует и контролирует производственный процесс с обоснованием принятых технологических и технических мер

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 48,2 академических часов;
- аудиторная – 45 академических часов;
- внеаудиторная – 3,2 академических часов;
- самостоятельная работа – 24,1 академических часов;
- в форме практической подготовки – 0 академических часов;
- подготовка к экзамену – 35,7 академических часов

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Оптимизация. Основные понятия и термины								
1.1 Роль оптимизации технологических процессов в металлургии	8	0,5			0,5	Изучение теоретического материала	Устный опрос	ПК-3.1, ПК-4.1
1.2 Этапы решения задач оптимизации		0,5			0,5	Изучение теоретического материала	Устный опрос	ПК-3.1, ПК-4.1
Итого по разделу		1			1			
2. Задачи оптимизации линейного программирования								
2.1 Классические задачи линейного программирования	8	1			0,5	Проработка лекционного материала	Устный опрос	ПК-3.1, ПК-4.1
2.2 Графический метод решения задач оптимизации		2		2	2	Выполнение практических работ	Выполнение контрольной работы №1	ПК-3.1, ПК-4.1
2.3 Транспортная задача оптимизации		4		4	2	Выполнение практических работ	Выполнение контрольной работы №2	ПК-3.1, ПК-4.1
2.4 Постановка задач оптимизации различных этапов производства черных металлов		2		3	2	Поиск дополнительной информации по теме лекции	Устный опрос	ПК-3.1, ПК-4.1
Итого по разделу		9		9	6,5			
3. Задачи оптимизации нелинейного программирования								
3.1 Задачи нелинейного программирования	8	1			0,5	Поиск дополнительной информации по заданной теме	Устный опрос	ПК-3.1, ПК-4.1
3.2 Методы безусловной оптимизации функций нескольких независимых		2		2	0,5	Выполнение практических работ	Устный опрос	ПК-3.1, ПК-4.1

переменных								
3.3 Методы нелинейного программирования при наличии ограничений	8	2		4	2	Выполнение практических работ	Выполнение контрольной работы №3	ПК-3.1, ПК-4.1
Итого по разделу		5		6	3			
4. Оптимизация металлургических процессов								
4.1 Оптимизация процесса выплавки чугуна в среде электронных таблиц Excel	8	2		6	5,6	Выполнение расчетной работы "Оптимизация процесса выплавки чугуна в доменной печи"	Отчет о выполненной расчетной работе	ПК-3.1, ПК-4.1
4.2 Оптимизация процесса непрерывной разливки стали в среде электронных таблиц Excel		1		6	8	Выполнение расчетной работы "Оптимизация процесса непрерывной разливки стали"	Отчет о выполненной расчетной работе	ПК-3.1, ПК-4.1
Итого по разделу		3		12	13,6			
Итого за семестр		18		27	24,1		экзамен	
Итого по дисциплине		18		27	24,1		экзамен	

## 5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Методы оптимизации в металлургии» используются как традиционная и модульно-компетентностная технологии, так и технология проблемного и интерактивного обучения.

С целью реализации компетентностного подхода, а также формирования и развития профессиональных навыков обучающихся реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных технологий;

самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием методических разработок, специальной учебной и научной литературы;

формирование и развитие профессиональных навыков обучающихся на практических занятиях.

К интерактивным методам, используемым при изучении дисциплины «Методы оптимизации», относятся: использование проблемных методов изложения материала с применением эвристических приемов (создание проблемных ситуаций и др.); а также создание электронных продуктов (презентаций).

На занятиях целесообразно использовать технологию коллективного взаимообучения, совмещая ее с технологией проблемного обучения. При этом необходимо повышать познавательную активность студентов, организуя самостоятельную работу как исследовательскую творческую деятельность.

Лекции проходят как форме информационных лекций, так и в форме лекций-консультаций, где теоретический материал заранее выдается обучающимся для самостоятельного изучения, для подготовки вопросов лектору, таким образом, лекция проходит по типу вопросы-ответы-дискуссия. Иногда лекции проходят в виде проблемной лекции с освещением различных научных подходов к поставленной проблеме.

В изложении лекционного материала и при проведении практических занятий предполагается переход от репродуктивных методов обучения к частично-поисковым и исследовательским методам, развивающим логическое, теоретическое мышление, умение аргументировать и отстаивать собственное понимание вопроса. С этой целью возможно использование методов эвристических вопросов и брэйнсторминга (мозговой атаки).

В ходе занятий предполагается использование комплекса инновационных методов активного обучения студентов, включающего в себя:

- создание проблемных ситуаций с показательным решением проблемы преподавателем;

- самостоятельную поисковую деятельность в решении учебных проблем, направляемую преподавателем;

- самостоятельное решение проблем студентами под контролем преподавателя.

Реализация инновационных методов обучения возможна с использованием следующих приемов:

- инструктаж студентов по составлению таблиц, схем, графиков с проведением последующего их анализа;

- применение рекомендаций по составлению тезисов и конспектов по прочитанному материалу;

- раскрытие преподавателем причин и характера неудач, встречающихся при решении проблем;

- демонстрация альтернативных подходов к решению конкретной проблемы;

- анализ полученных результатов и отыскание границ их применимости;

- использование заданий для самостоятельной работы с избыточными данными.

При проведении практических занятий необходимо целенаправленно переходить от репродуктивных методов обучения к частично-поисковым и исследовательским методам, развивая логическое мышление, умение аргументировать и отстаивать собственное понимание вопроса. С этой целью возможно использование как традиционной, так проблемной и интерактивной образовательных технологий.

При проведении заключительного контроля необходимо выявить степень правильности, объема, глубины знаний, умений, навыков, полученных при изучении курса наряду с выявлением степени самостоятельности в применении полученных знаний.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Аттетков, А. В. Методы оптимизации : учебное пособие / А. В. Аттетков, В. С. Зарубин, А. Н. Канатников. — Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2023. — 270 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI: <https://doi.org/10.12737/11456>. - ISBN 978-5-369-01037-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1930702> (дата обращения: 03.04.2024).

2. Бабенышев, С. В. Методы оптимизации: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей / Бабенышев С.В. - Железногорск:ФГБОУ ВО СПСА ГПС МЧС России, 2017. - 122 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/912642>

3. Поляков, В. М. Методы оптимизации : учебное пособие / В. М. Поляков, З. С. Агаларов. - 2-е изд. - Москва : Дашков и К, 2022. - 86 с. - ISBN 978-5-394-05003-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1926409>

### **б) Дополнительная литература:**

1 Смирнов, А. П. Методы оптимизации : алгоритмические основы задач оптимизации : курс лекций / А. П. Смирнов. - Москва : Изд. Дом МИСиС, 2014. - 135 с. - ISBN 978-5-87623-781-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1232249>

2. Бахвалов, Н. С. Численные методы : учебник / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — 9-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 636 с. - (Классический университетский учебник). - ISBN 978-5-00101-836-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1087429>

### **в) Методические указания:**

1 «Задачи оптимизации в металлургии». Методические указания к практическим работам по дисциплине «Методы оптимизации» для обучающихся по направлению 22.03.02 «Металлургия» дневной и заочной форм обучения: Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2017. 26 с.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Yandex	свободно распространяемое ПО	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	<a href="http://www1.fips.ru/">URL: http://www1.fips.ru/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Электронная база периодических изданий East View	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>

**9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена:
  - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;
  - специализированной мебелью.
2. Учебная аудитория для проведения практических занятий оснащена:
  - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;
  - специализированной мебелью.
3. Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащена:
  - компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
  - специализированной мебелью.
4. Помещение для самостоятельной работы оснащено:
  - компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
  - специализированной мебелью.
5. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащено:
  - специализированной мебелью: стеллажами для хранения учебного оборудования;
  - инструментами для ремонта учебного оборудования;
  - шкафами для хранения учебно-методической документации и материалов.

## 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Вопросы для самопроверки представлены в виде практико-ориентированных заданий для выполнения расчетов по применению методов оптимизации для оценки использования производственных и технологических данных. Также вопросы для самопроверки представлены теоретическими вопросами, требующие развёрнутого устного ответа, позволяющие проверить уровень усвоения знаний и освоения общих и профессиональных компетенций по дисциплине.

По дисциплине «Методы оптимизации» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение задач на практических занятиях.

Вопросы для самопроверки представлены в виде практико-ориентированных заданий для выполнения расчетов по применению методов оптимизации для оценки использования производственных и технологических данных. Также вопросы для самопроверки представлены теоретическими вопросами, требующие развёрнутого устного ответа, позволяющие проверить уровень усвоения знаний и освоения общих и профессиональных компетенций по дисциплине.

По дисциплине «Методы оптимизации» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение контрольных задач на практических занятиях.

### Примерные вопросы для устного опроса по изучаемым темам

1. Понятие «оптимальный», критерий оптимальности.
2. Принцип выбора критерия оптимальности.
3. Что такое целевая функция.
4. Что такое параметрическая оптимизация.
5. Дать определение структурной оптимизации.
6. Объяснить необходимость оптимизации технологических процессов.
7. Понятия локального и глобального оптимума.
8. Стандартный вид задачи оптимизации.
9. Деление задач оптимизации в зависимости от вида уравнений задающих ограничения и целевую функцию.
10. Понятие ограничений при решении задачи оптимизации.
11. Привести примеры наличия ограничений при решении задачи оптимизации технологического процесса.
12. Понятие оптимальности химического состава сырьевых материалов процессов выплавки чугуна и стали.
13. Роль и место математической модели при оптимизации производственных процессов.
14. Задание ограничений (условий) введением барьерной, штрафной функции.
15. Графический метод линейного программирования на примере технологического процесса.
16. Транспортная задача линейного программирования. Понятие и способы решения.
17. Методы нелинейной оптимизации.
18. Целесообразность выбора себестоимости конечной продукции в качестве критерия оптимизации многопараметрических систем
19. Понятия локального и глобального оптимума.
20. Стандартный вид задачи оптимизации.
21. Отличия безусловной и условной оптимизации. Допустимость решения задач с ограничениями методами безусловной оптимизации.

22. Сформулировать этапы задачи оптимизации процесса агломерации с целью максимизации производительности агломерационной машины. Обосновать принятые решения.
23. Сформулировать этапы задачи оптимизации доменного процесса с целью максимизации производительности доменной печи. Обосновать принятые решения
24. Сформулировать этапы задачи оптимизации химического состава сырьевых материалов доменного процесса с целью выплавки высококачественного чугуна. Обосновать принятые решения
25. Сформулировать этапы задачи оптимизации процесса выплавки стали в кислородном конвертере с целью выплавки низкофосфористой стали. Обосновать принятые решения.
26. Поставить в общем виде задачу оптимизации расхода топлива в процессе агломерации. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения.
27. Поставить в общем виде задачу оптимизации газопроницаемости аглошихты. Выбрать изменяемые параметры. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения.
28. Поставить задачу оптимизации расхода ферросплавов на раскисление и легирование стали в общем виде. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения.

### Примерные контрольные работы

#### Контрольная работа №1 «Решение задач оптимизации графическим методом»

Подобрать пару лигатур из предложенных ниже для легирования стали с целью обеспечения получения заданного содержания марганца и кремния в металле с минимизацией затрат на легирование

Таблица 1 – Химический состав и стоимость лигатур для легирования спецсталей

Лигатура	Содержание в лигатуре, %		Стоимость лигатуры уе/т
	Mn <sup>лиг</sup>	Si <sup>лиг</sup>	
Л1	60	30	1200
Л2	40	50	1400
Л3	50	20	900
Л4	30	10	500
Л5	40	40	1200
Л6	50	10	700
Л7	50	50	1500
Л8	30	60	1500
Л9	90	10	1100
Л10	20	60	1400
Л11	70	20	1100
Л12	30	50	1300
Л13	60	10	800
Л14	20	50	1200
Л15	30	70	1700
Л16	10	40	900
Л17	10	80	1700
Л18	20	80	1800
Л19	80	20	1200
Л20	50	30	1100

Таблица 2 - Содержание марганца и кремния в готовой стали (по вариантам):

№ варианта	[Mn]	[Si]	Емкость ковша, т
1	7	10	100
2	6	2	100
3	4	1	100
4	3	9	100
5	2	5	150
6	1	4	150
7	9	3	150
8	8	1	150
9	10	6	175
10	6	9	175
11	1	8	175
12	4	8	175
13	3	5	200
14	5	3	200
15	5	10	200
16	12	10	200
17	10	5	300
18	2	4	300
19	3	3	300
20	2	10	370
21	10	2	370

**Контрольная работа №2 «Решение задач оптимизации линейного программирования»**

1. Исследование процессов с использованием методов линейного программирования. Составить план поставки стали от трех кислородных конвертеров пяти МНЛЗ с минимизацией общей стоимости перевозок для следующих условий: конвертеры выплавляют в сутки соответственно, 24, 18 и 21 ковшей со сталью. Для МНЛЗ требуется, соответственно, 15, 17, 9, 12 и 10 ковшей стали в сутки. Стоимость перевозки одного ковша со сталью от конвертера к МНЛЗ представлены в таблице. Задачу решить двумя способами.

Поставщики	Потребители				
	1	2	3	4	5
1	2	6	5	3	1
2	1	4	3	0	2
3	1	2	2	3	1

2. Исследование процессов с использованием методов линейного программирования. Составить план поставки стали от трех кислородных конвертеров пяти МНЛЗ с минимизацией общей стоимости перевозок для следующих условий: конвертеры выплавляют в сутки соответственно, 23, 35, 39 ковшей со сталью. Для МНЛЗ требуется, соответственно, 20, 23, 18, 15, 21 ковша стали в сутки. Стоимость перевозки одного ковша со сталью от конвертера к МНЛЗ представлены в таблице. Задачу решить двумя способами.

Поставщики	Потребители				
	1	2	3	4	5
1	2	.	3	0	1
2	5	1	4	2	1
3	4	2	6	1	3

**Контрольная работа №3 «Методы нелинейного программирования»**

1. Исследовать функцию методом золотого сечения. Исследовать функцию  $4x^2-16x+8$  на наличие экстремума. Определить интервал, содержащий минимум на отрезке  $[-17;16]$  с точностью  $\varepsilon=1$ .
2. Исследовать функцию методом золотого сечения. Исследовать функцию  $x^2+10x-5$  на наличие экстремума. Определить интервал, содержащий минимум на отрезке  $[-12;21]$  с точностью  $\varepsilon=1$ .
3. Исследовать функцию методом дихотомии. Исследовать функцию  $x^2-2x+9$  на наличие экстремума. Определить интервал, содержащий минимум на отрезке  $[-19;4]$  с точностью  $\varepsilon=1$ .
4. Исследовать функцию методом Фибоначчи. Исследовать функцию  $3x^2-18x+2$  на наличие экстремума. Определить интервал, содержащий минимум на отрезке  $[-13;10]$  с точностью  $\varepsilon=1$ .

### Расчетная работа «Оптимизация процесса выплавки чугуна в доменной печи»

Составить и оптимизировать математическую модель по расходу шихтовых материалов с получением чугуна и шлака заданного химического состава, минимизируя затраты на выплавку 1 тонны чугуна.

Таблица 1- Химический состав шихтовых материалов

Наименование	Fe	FeO	Mn	S	P	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	п.п.п.	Стоимость, уе/т
<b>Окатыши</b>												
Михайловские	62,10	1,30	0,05	0,03	0,01	1,72	8,95	0,28	0,59	0,00	0,0	1543
Качканарские	60,90	3,20	0,09	0,08	0,12	1,27	4,05	2,53	1,99	2,45	0,0	1420
ССГПО	62,29	1,35	0,12	0,09	0,05	4,28	3,88	1,28	0,91	0,26	0,0	1457
Лебединские	66,55	1,00	0,12	0,11	0,05	0,27	4,45	0,38	0,15	0,00	0,0	2124
Костамукшские	61,50	1,90	0,08	0,02	0,02	3,30	8,20	0,40	0,20	0,01	0,0	1482
<b>Агломерат</b>												
Агломерат 1	57,90	10,5	0,10	0,02	0,05	8,10	6,50	1,90	3,30	0,0	0,0	1260
Агломерат 2	56,82	9,55	0,15	0,04	0,06	10,25	9,00	0,09	1,06	0,02	0,0	1240
<b>Железная руда</b>												
БРУ (обожж.)	50,00	0,80	2,19	0,11	0,11	1,40	6,63	1,80	13,40		0,0	1025
ССГПО	55,43	22,82	0,02	0,13	0,10	4,02	9,95	2,18	2,42	0,25	2,0	902
<b>Марганцевая руда</b>												
Марганцевая руда 1	1,50	MnO 25,60	40,00	0,08	0,15	3,00	21,10	11,00	2,00	0	5,0	150
Марганцевая руда 2	2,3	MnO 19,2	35,3	0,07	0,19	4,2	25,4	10,7	2,8	0	6,1	130
<b>Кокс</b>												

Зола кокса	6,0					4,3	51,3	25,9	1,05			3528
<b>Флюсы</b>												
Известняк Агаповский	0,80			0,30	0,05	0,02	52,04	0,15	0,02	3,00	0,00	500
Известняк Тургоякский	0,52			0,50	0	0,01	54,80	0,54	0,44	0,30		621
Кварцит				0,02			1,00	95,00	2,00			452
Бокситы	14,00	0,00		0,01				10,00	50,00		2,50	105
Бой шамотного кирпича							1,00	55,53	39,01	0,73	1,80	95

Таблица 2 – Ограничения на свойства доменного шлака

Наименование	FeO	$\frac{CaO}{SiO_2}$	$\frac{(CaO+MgO)}{SiO_2+Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	$\frac{(CaO+MgO)}{SiO_2}$	TiO <sub>2</sub>
Минимальное	0,00	0,90	0,90	2,00	0,00	25,00	22,00	7,00	5,00	1,10	0,00
Максимальное	2,00	1,20	1,45	7,00	10,00	48,00	48,00	12,00	8,00	1,40	2,00

Таблица 3 – Характеристики чугуна

Состав чугуна, %	[C]	[Si]	[S]	[P]	[Mn]	[Ti]	[Fe]
Принято		0,7	0,02				
Степень восстановления элементов чугуна, ед				1,0	0,6	0,2	0,998

### Расчетная работа «Оптимизация процесса непрерывной разливки стали»

Произвести математическое моделирование зависимости толщины слоя затвердевшего металла на выходе из поддерживающей системы кристаллизатора МНЛЗ от скорости вытягивания заготовки и высоты поддерживающей системы кристаллизатора. Определить оптимальные условия для безаварийной разливки стали марки Ст.1кп на одноручьевой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком при отливке слябовой заготовки сечением 270×1800 мм и температуре металла в промежуточном ковше машины 1540 °С

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-3 - Способен выполнять научно-исследовательские задачи в области профессиональной деятельности		
ПК-3.1	Решает научно-исследовательские задачи в области металлургии черных металлов	<p><b>Примерные теоретические вопросы для подготовки к экзамену:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Понятие «оптимальный», критерий оптимальности.</li> <li>2. Принцип выбора критерия оптимальности.</li> <li>3. Что такое целевая функция.</li> <li>4. Понятия локального и глобального оптимума.</li> <li>5. Стандартный вид задачи оптимизации.</li> <li>6. Деление задач оптимизации в зависимости от вида уравнений задающих ограничения и целевую функцию.</li> <li>7. Понятие ограничений при решении задачи оптимизации.</li> <li>8. Привести примеры наличия ограничений при решении задачи оптимизации технологического процесса</li> <li>9. Целесообразность выбора себестоимости конечной продукции в качестве критерия оптимизации многопараметрических систем.</li> <li>10. Роль и место математической модели при оптимизации производственных процессов.</li> <li>11. Необходимость исследования при решении задач оптимизации технологических процессов производства черных металлов.</li> <li>12. Взаимосвязь исследования и оптимизации процессов производства черных металлов.</li> </ol> <p><b>Примерные практические задания для экзамена</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Исследовать влияние параметров разливки стали на толщину слоя затвердевшего металла на выходе из кристаллизатора МНЛЗ. Оптимизировать процесс разливки для обеспечения безаварийной разливки стали марки 09Г2С в слябовую заготовку сечением 900*1700мм, высоту кристаллизатора принять 0,9 м, величину перегрева принять на 25<sup>0</sup>С выше температуры ликвидуса.</li> <li>2. Сформулировать ограничения , пределы управляемости и целевую функцию при</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																																																																						
		<p>постановки задачи легирования стали с использованием лигатур.            3. Исследовать влияние и оптимизировать изменения параметров доменного процесса на ТЭП доменной плавки. Объяснить эффективность принимаемых решений.</p> <table border="1" data-bbox="880 344 2078 627"> <tr> <td>Вариант</td> <td>27.1</td> <td>27.2</td> <td>27.3</td> <td>27.4</td> <td>27.5</td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td>Расход кокса в базовом периоде,</td> <td>475</td> <td>450</td> <td>460</td> <td>455</td> <td>470</td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td>Производительность доменной печи, т/сут</td> <td>5500</td> <td>6000</td> <td>7500</td> <td>10000</td> <td>3000</td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Изменяемые параметры</td> <td>база</td> <td>ПГ, м<sup>3</sup>/т</td> <td>50</td> <td>t<sub>д</sub>, °C</td> <td>950</td> <td>Fe в ЖРС, %</td> <td>58,2</td> <td>[Mn], %</td> <td>0,6</td> <td>M25, %</td> <td>82,3</td> </tr> <tr> <td>проект</td> <td></td> <td>70</td> <td></td> <td>1000</td> <td></td> <td>56,9</td> <td></td> <td>0,9</td> <td></td> <td>83,2</td> </tr> </table>												Вариант	27.1	27.2	27.3	27.4	27.5							Расход кокса в базовом периоде,	475	450	460	455	470							Производительность доменной печи, т/сут	5500	6000	7500	10000	3000							Изменяемые параметры	база	ПГ, м <sup>3</sup> /т	50	t <sub>д</sub> , °C	950	Fe в ЖРС, %	58,2	[Mn], %	0,6	M25, %	82,3	проект		70		1000		56,9		0,9		83,2
Вариант	27.1	27.2	27.3	27.4	27.5																																																																			
Расход кокса в базовом периоде,	475	450	460	455	470																																																																			
Производительность доменной печи, т/сут	5500	6000	7500	10000	3000																																																																			
Изменяемые параметры	база	ПГ, м <sup>3</sup> /т	50	t <sub>д</sub> , °C	950	Fe в ЖРС, %	58,2	[Mn], %	0,6	M25, %	82,3																																																													
	проект		70		1000		56,9		0,9		83,2																																																													
ПК-4: Способен выполнять задачи по оценке сырья и металлургической продукции, корректировать и контролировать производственный процесс																																																																								
ПК-4.1:	Оценивает сырье и металлургическую продукцию, корректирует и контролирует производственный процесс с обоснованием принятых технологических и технических мер	<p><b>Примерные теоретические вопросы для подготовки к экзамену:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Понятие «оптимальный», критерий оптимальности.</li> <li>2. Принцип выбора критерия оптимальности.</li> <li>3. Привести примеры наличия ограничений при решении задачи оптимизации технологического процесса.</li> <li>4. Понятие оптимальности химического состава сырьевых материалов процессов выплавки чугуна и стали.</li> <li>5. Сформулировать этапы задачи оптимизации процесса агломерации с целью максимизации производительности агломерационной машины. Обосновать принятые решения.</li> <li>6. Сформулировать этапы задачи оптимизации доменного процесса с целью максимизации производительности доменной печи. Обосновать принятые решения</li> <li>7. Сформулировать этапы задачи оптимизации химического состава сырьевых материалов доменного процесса с целью выплавки высококачественного чугуна. Обосновать принятые решения</li> <li>8. Сформулировать этапы задачи оптимизации процесса выплавки стали в</li> </ol>																																																																						

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																																																										
		<p>кислородном конвертере с целью выплавки низкофосфористой стали. Обосновать принятые решения.</p> <p>9. Поставить в общем виде задачу оптимизации расхода топлива в процессе агломерации. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения.</p> <p>10. Поставить в общем виде задачу оптимизации газопроницаемости аглошихты. Выбрать изменяемые параметры. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения.</p> <p>11. Поставить задачу оптимизации расхода ферросплавов на раскисление и легирование стали в общем виде. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения.</p> <p><b>Примерные практические задания для экзамена</b></p> <p>1. Исследовать химический состав исходного сырья на возможность выплавки из него чугуна. Дать рекомендации по оптимизации химического состава сырья. Сформулировать цель оптимизации. Обосновать принятые решения.</p> <table border="1" data-bbox="884 788 2011 903"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Вариант</th> <th colspan="9">Химический состав ЖРС, %</th> </tr> <tr> <th>Fe</th> <th>FeO</th> <th>MnO</th> <th>S</th> <th>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></th> <th>SiO<sub>2</sub></th> <th>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></th> <th>CaO</th> <th>MgO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>56</td> <td>10,5</td> <td>0,5</td> <td>0,82</td> <td>0,62</td> <td>9,6</td> <td>1,2</td> <td>5,12</td> <td>1,3</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. В системе электронных таблиц с использованием вкладки «Поиск решения» составить программу плана поставки стали от трех кислородных конвертеров пяти МНЛЗ с минимизацией общей стоимости перевозок для следующих условий: конвертеры выплавляют в сутки соответственно, 24, 18 и 21 ковшей со сталью. Для МНЛЗ требуется, соответственно, 15, 17, 9, 12 и 10 ковшей стали в сутки. Стоимость перевозки одного ковша со сталью от конвертера к МНЛЗ представлены в таблице.</p> <table border="1" data-bbox="884 1126 1951 1316"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Поставщики</th> <th colspan="5">Потребители</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Вариант	Химический состав ЖРС, %									Fe	FeO	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	1	56	10,5	0,5	0,82	0,62	9,6	1,2	5,12	1,3	Поставщики	Потребители					1	2	3	4	5	1	2	6	5	3	1	2	1	4	3	0	2	3	1	2	2	3	1
Вариант	Химический состав ЖРС, %																																																											
	Fe	FeO	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO																																																			
1	56	10,5	0,5	0,82	0,62	9,6	1,2	5,12	1,3																																																			
Поставщики	Потребители																																																											
	1	2	3	4	5																																																							
1	2	6	5	3	1																																																							
2	1	4	3	0	2																																																							
3	1	2	2	3	1																																																							

## **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Методы оптимизации в металлургии» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме экзамена и в форме выполнения и защиты курсового проекта.

Экзамен по данной дисциплине проводится либо в устной форме по экзаменационным билетам, либо в форме экзаменационного тестирования. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и одно практическое задание. Экзаменационный тест включает теоретические и практические вопросы.

Вопросы на экзамен и экзаменационный тест охватывают весь объем изучаемой дисциплины в соответствии с РПД.

### **Показатели и критерии оценивания экзамена в устной форме:**

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

### **Показатели и критерии оценивания экзамена в виде экзаменационного теста:**

~ на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности, что соответствует результату тестирования 75% и более;

~ на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации, что соответствует результату тестирования 60-74 %;

~ на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся

испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации, что соответствует результату тестирования 50- 59 %;

на оценку «неудовлетворительно» (2 балла) – обучающийся не демонстрирует знания теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач, что соответствует результату тестирования менее 50 %.