



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  
09.02.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ  
МЕТАЛЛОВ***

Направление подготовки (специальность)  
22.03.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы  
Технологии и цифровое управление процессами производства черных металлов и сплавов

Уровень высшего образования - бакалавриат

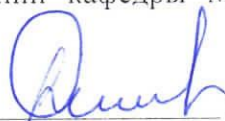
Форма обучения  
заочная

Институт/ факультет    Институт металлургии, машиностроения и материалообработки  
Кафедра                    Металлургии и химических технологий  
Курс                         5

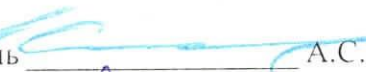
Магнитогорск  
2023 год

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

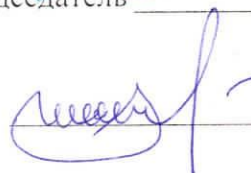
Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Metallургии и химических технологий  
08.02.2023, протокол № 5

Зав. кафедрой  А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ  
09.02.2023 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

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

 И.В. Макарова

Рецензент:  
доцент кафедры ЛПиМ, канд. техн. наук

 И.В. Михалкина

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 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 2025 - 2026 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 2026 - 2027 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 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

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целями освоения дисциплины «Цифровизация процессов производства черных металлов» является обучение студентов необходимости использования в теории и практике ведения металлургических процессов нахождения оптимальных вариантов работы комплекса металлургических агрегатов и выбора шихтовых материалов, овладение студентами навыками использования цифровых технологий для прогнозирования и оценки ведения технологических процессов.

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

Дисциплина Цифровизация процессов производства черных металлов входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

Ковшевая обработка стали

Основы алгоритмизации и создание цифровых моделей

Планирование эксперимента

Разливка и кристаллизация стали

Разработка цифровых двойников в металлургии

Теория и технология доменного процесса

Анализ числовой информации

Выплавка стали и ферросплавов в электропечах

Теория и технология выплавки стали в кислородных конвертерах

Теория и технология окускования железных руд

Компьютерные методы проектирования металлургических цехов

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Производственная - преддипломная практика

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

В результате освоения дисциплины (модуля) «Цифровизация процессов производства черных металлов» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-5	Способен проводить анализ технологий в металлургическом производстве с обоснованием эффективности принятых мер по управлению технологическими параметрами
ПК-5.1	Проводит цифровой анализ технологий в металлургическом производстве, используя прикладные программы

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

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

- контактная работа – 17,2 акад. часов;
- аудиторная – 14 акад. часов;
- внеаудиторная – 3,2 акад. часов;
- самостоятельная работа – 82,1 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 8,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Курс	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Основы цифровизации процессов производства черных металлов								
1.1 Роль цифровизации в процессах производства черных металлов. Оптимизация как один из методов цифровизации технологических процессов.	5	0,5			6	Изучение теоретического материала	Устный опрос	
1.2 Этапы оптимизации процессов производства черных металлов с использованием прикладных программ цифровизации		0,5			6	Изучение теоретического материала	Устный опрос	
1.3 Классические задачи оптимизации		3		4	18,4	Проработка теоретического материала. Выполнение практических расчетов.	Выполнение контрольной работы	
Итого по разделу		4		4	30,4			
2. Цифровая оптимизация процессов производства черных металлов с использованием информационных систем обработки данных								
2.1 Особенности использования цифровых технологий в вопросах оптимизации металлургических процессов	5	0,5			8	Поиск дополнительной информации с использованием Google Account. Создание групповой презентации	Представление Google-презентации	

2.2 Постановка задач оптимизации различных этапов производства черных металлов при использовании цифровых технологий		0,5			8	Проработка лекционного материала, создание Google-документа в среде электронных таблиц	Отчет	
2.3 Цифровая оптимизация доменного процесса с использованием информационных систем обработки BigData		0,5		2	18	Выполнение кейса "Цифровая оптимизация доменного процесса" с использованием цифровых технологий. Составление презентации по результатам расчета	Защита презентации	
2.4 Цифровая оптимизация процесса непрерывной разливки стали с использованием информационных систем обработки данных		0,5		2	17,7	Выполнение кейса "Цифровая оптимизация процесса непрерывной разливки стали" с использованием цифровых технологий. Составление презентации по результатам расчета	Защита презентации	
Итого по разделу		2		4	51,7			
Итого за семестр		6		8	82,1		экзамен	
Итого по дисциплине		6		8	82,1		экзамен	

## 5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Цифровизация процессов производства черных металлов» используются как традиционная и модульно-компетентностная технологии, так и технология проблемного и интерактивного обучения, в том числе с использованием различных цифровых технологий.

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; использованием информационных ресурсов

формирование и развитие профессиональных навыков обучающихся на практических занятиях, в том числе в среде цифровых коммуникаций.

К интерактивным методам, используемым при изучении дисциплины «Цифровизация процессов производства черных металлов», относятся: использование проблемных методов изложения материала с применением эвристических приемов (создание проблемных ситуаций и др.); а также создание электронных продуктов (презентаций), в том числе групповая работа в среде цифровых технологий.

На занятиях целесообразно использовать технологию коллективного взаимообучения, совмещая ее с технологией проблемного обучения. При этом необходимо повышать познавательную активность студентов, организуя самостоятельную и групповую работу как исследовательскую творческую деятельность в вопросах цифровизации процессов оптимизации процессов производства черных металлов.

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 том числе, с использованием различных Интернет-аккаунтов.

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, умение работать в команде. 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, конспектов и презентаций

по прочитанному материалу;

- использование заданий для самостоятельной работы с BigData.

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 цифровых 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 (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Методы оптимизации: Учебное пособие / А.В. Аттетков, В.С. Зарубин, А.Н. Канатников. - Москва : ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 270 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-01037-2 - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/350985>

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

3. Затонский, А. В. Информационные технологии: разработка информационных моделей и систем : учебное пособие / А. В. Затонский. - Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2020. - 344 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-369-01183-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1043096>

### **б) Дополнительная литература:**

1 Смирнов А.П. Методы оптимизации. /МИСиС (технол.ун-т), каф.авт сист. упр. -М.:2009, 134 с.

2. Ракитин В.И., Первушкин В.Е. Практическое руководство по методам вычислений с приложением программ для персональных компьютеров. —М.: Высш.шк., —1998,—383с.

3. Бахвалов И. В., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы : учебное пособие - 8-е изд. - М. ; СПб. : Физматлит : Невский Диалект : Лаборатория Базовых Знаний, 2000. - 622 с.

### **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»	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<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 для оценки использования производственных и технологических данных с использованием цифровых методов оптимизации. Также вопросы для самопроверки представлены теоретическими вопросами, требующие развернутого устного ответа, позволяющие проверить уровень усвоения знаний и освоения общих и профессиональных компетенций по дисциплине.

По дисциплине «Цифровизация процессов производства черных металлов» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение задач на практических занятиях.

#### Примерные вопросы для устного опроса по изучаемым темам

- Понятие цифровизации технологических процессов.
- Роль цифровизации в процессах производства черных металлов.
- Оптимизация как один из способов цифровизации технологических процессов.
- Понятие «оптимальный», критерий оптимальности.
- Принцип выбора критерия оптимальности.
- Что такое целевая функция.
- Объяснить необходимость оптимизации технологических процессов.
- Стандартный вид задачи оптимизации.
- Деление задач оптимизации в зависимости от вида уравнений задающих ограничения и целевую функцию.
- Понятие ограничений при решении задачи оптимизации.
- Формулировка ограничений при использовании цифровых технологий для оптимизации процессов производства черных металлов.
- Привести примеры наличия ограничений при оптимизации технологического процесса с использованием цифровых технологий.
- Понятие оптимальности химического состава сырьевых материалов процессов выплавки чугуна и стали.
- Роль и место математической модели при оптимизации производственных процессов.
- Классические задачи оптимизации.
- Стандартный вид задачи оптимизации.
- Цифровые технологии в задачах оптимизации технологических процессов.
- Виды цифровых технологий при обработке больших данных при решении задач оптимизации технологических процессов.
- Особенности использования различных информационных технологий при решении задач оптимизации.
- Порядок решения задачи оптимизации в металлургии при использовании цифровых технологий.
- Сформулировать этапы задачи оптимизации процесса агломерации с целью максимизации производительности агломерационной машины. Обосновать принятые решения. Задачу составить в среде электронных таблиц.
- Сформулировать этапы задачи оптимизации доменного процесса с целью максимизации производительности доменной печи. Обосновать принятые решения. Задачу составить в среде электронных таблиц.
- Сформулировать этапы задачи оптимизации химического состава сырьевых материалов доменного процесса с целью выплавки высококачественного чугуна. Обосновать принятые решения. Задачу составить в среде электронных таблиц.

- Сформулировать этапы задачи оптимизации процесса выплавки стали в кислородном конвертере с целью выплавки низкофосфористой стали. Обосновать принятые решения. Задачу составить в среде электронных таблиц.
- Поставить в общем виде задачу оптимизации расхода топлива в процессе агломерации. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения. Задачу составить в среде электронных таблиц.
- Поставить в общем виде задачу оптимизации газопроницаемости аглошихты. Выбрать изменяемые параметры. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения. Задачу составить в среде электронных таблиц.
- Поставить задачу оптимизации расхода ферросплавов на раскисление и легирование стали в общем виде. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения. Задачу составить в среде электронных таблиц.

### Примерные контрольные работы

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. Задачу решить с использованием информационных систем обработки данных.

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

«Решение классических задач оптимизации»

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 с использованием информационных систем.

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

Кейс «Цифровая оптимизация доменного процесса»

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	CaO SiO <sub>2</sub>	(CaO+MgO) SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	(CaO+MgO) SiO <sub>2</sub>	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

### Кейс «Цифровая 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 одноручьеовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком при отливке слябовой заготовки сечением 270×1800 мм и температуре металла в промежуточном ковше машины 1540 °С. В среде электронных таблиц составить необходимые графики, подтверждающие результаты расчетов, сделать презентацию по результатам расчета.

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-5: Способен проводить анализ технологий в металлургическом производстве с обоснованием эффективности принятых мер по управлению технологическими параметрами		
ПК-5.1	Проводит цифровой анализ технологий в металлургическом производстве, используя прикладные программы	<p><b>Примерные теоретические вопросы для подготовки к экзамену:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Понятие цифровизации технологических процессов.</li> <li>– Роль цифровизации в процессах производства черных металлов.</li> <li>– Необходимость использования различных цифровых технологий при оптимизации, контроле и корректировке производственных процессов выплавки чугуна и стали.</li> <li>– Оптимизация как один из способов цифровизации технологических процессов.</li> <li>– Понятие «оптимальный», критерий оптимальности.</li> <li>– Принцип выбора критерия оптимальности.</li> <li>– Что такое целевая функция.</li> <li>– Объяснить необходимость оптимизации технологических процессов.</li> <li>– Стандартный вид задачи оптимизации.</li> <li>– Деление задач оптимизации в зависимости от вида уравнений задающих ограничения и целевую функцию.</li> <li>– Понятие ограничений при решении задачи оптимизации.</li> <li>– Формулировка ограничений при использовании цифровых технологий для оптимизации процессов производства черных металлов.</li> <li>– Привести примеры наличия ограничений при оптимизации технологического процесса с использованием цифровых технологий.</li> <li>– Понятие оптимальности химического состава сырьевых материалов процессов выплавки чугуна и стали.</li> <li>– Роль и место математической модели при оптимизации производственных процессов.</li> <li>– Классические задачи оптимизации.</li> <li>– Стандартный вид задачи оптимизации.</li> <li>– Цифровые технологии в задачах оптимизации технологических процессов.</li> </ul>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Виды цифровых технологий при обработке больших данных при решении задач оптимизации технологических процессов.</li> <li>– Особенности использования различных информационных технологий при решении задач оптимизации.</li> <li>– Порядок решения задачи оптимизации в металлургии при использовании цифровых технологий.</li> <li>– Сформулировать этапы задачи оптимизации доменного процесса с целью максимизации производительности доменной печи. Обосновать принятые решения. Определить тип информационной системы для решения данной задачи оптимизации.</li> <li>– Сформулировать этапы задачи оптимизации химического состава сырьевых материалов доменного процесса с целью выплавки высококачественного чугуна. Обосновать принятые решения. Определить тип информационной системы для решения данной задачи оптимизации.</li> <li>– Сформулировать этапы задачи оптимизации процесса выплавки стали в кислородном конвертере с целью выплавки низкофосфористой стали. Обосновать принятые решения. Определить тип информационной системы для решения данной задачи оптимизации.</li> <li>– Поставить задачу оптимизации расхода ферросплавов на раскисление и легирование стали в общем виде. Сформулировать и записать ограничения и целевую функцию. Выбрать метод решения. Определить тип информационной системы для решения данной задачи оптимизации.</li> <li>– Цифровые технологии в задачах оптимизации технологических процессов.</li> <li>– Виды цифровых технологий при обработке больших данных при решении задач оптимизации технологических процессов.</li> <li>– Особенности использования различных информационных технологий при решении задач оптимизации.</li> </ul> <p><b>Примерные практические задания для экзамена</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Исследовать химический состав исходного сырья на возможность выплавки из него чугуна. Дать рекомендации по оптимизации химического состава сырья.</li> </ul>



Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																																																												
		<p data-bbox="936 236 1861 268">Сформулировать цель оптимизации. Обосновать принятые решения.</p> <table border="1" data-bbox="869 268 1995 384"> <thead> <tr> <th data-bbox="869 268 1021 308">Вариант</th> <th colspan="9" data-bbox="1317 276 1704 308">Химический состав ЖРС, %</th> </tr> <tr> <th data-bbox="869 308 1021 347"></th> <th data-bbox="1021 308 1128 347">Fe</th> <th data-bbox="1128 308 1236 347">FeO</th> <th data-bbox="1236 308 1344 347">MnO</th> <th data-bbox="1344 308 1451 347">S</th> <th data-bbox="1451 308 1559 347">P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></th> <th data-bbox="1559 308 1666 347">SiO<sub>2</sub></th> <th data-bbox="1666 308 1774 347">Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></th> <th data-bbox="1774 308 1881 347">CaO</th> <th data-bbox="1881 308 1995 347">MgO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="869 347 1021 384">1</td> <td data-bbox="1021 347 1128 384">56</td> <td data-bbox="1128 347 1236 384">10,5</td> <td data-bbox="1236 347 1344 384">0,5</td> <td data-bbox="1344 347 1451 384">0,82</td> <td data-bbox="1451 347 1559 384">0,62</td> <td data-bbox="1559 347 1666 384">9,6</td> <td data-bbox="1666 347 1774 384">1,2</td> <td data-bbox="1774 347 1881 384">5,12</td> <td data-bbox="1881 347 1995 384">1,3</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="869 432 2094 683">– 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="869 683 1933 874"> <thead> <tr> <th data-bbox="869 683 1066 722">Поставщики</th> <th colspan="5" data-bbox="1406 691 1592 722">Потребители</th> </tr> <tr> <th data-bbox="869 722 1066 762"></th> <th data-bbox="1066 722 1191 762">1</th> <th data-bbox="1191 722 1357 762">2</th> <th data-bbox="1357 722 1550 762">3</th> <th data-bbox="1550 722 1720 762">4</th> <th data-bbox="1720 722 1933 762">5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="869 762 1066 802">1</td> <td data-bbox="1066 762 1191 802">2</td> <td data-bbox="1191 762 1357 802">6</td> <td data-bbox="1357 762 1550 802">5</td> <td data-bbox="1550 762 1720 802">3</td> <td data-bbox="1720 762 1933 802">1</td> </tr> <tr> <td data-bbox="869 802 1066 842">2</td> <td data-bbox="1066 802 1191 842">1</td> <td data-bbox="1191 802 1357 842">4</td> <td data-bbox="1357 802 1550 842">3</td> <td data-bbox="1550 802 1720 842">0</td> <td data-bbox="1720 802 1933 842">2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="869 842 1066 874">3</td> <td data-bbox="1066 842 1191 874">1</td> <td data-bbox="1191 842 1357 874">2</td> <td data-bbox="1357 842 1550 874">2</td> <td data-bbox="1550 842 1720 874">3</td> <td data-bbox="1720 842 1933 874">1</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="869 922 2094 1137">– 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. Задачу составить в среде электронных таблиц</p> <p data-bbox="869 1145 2094 1249">– Сформулировать ограничения, пределы управляемости и целевую функцию при постановке задачи легирования стали с использованием лигатур. Задачу составить в среде электронных таблиц</p> <p data-bbox="869 1257 2094 1329">– Исследовать влияние и оптимизировать изменения параметров доменного процесса на ТЭП доменной плавки. Объяснить эффективность принимаемых решений. Задачу</p>	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																																																									

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства											
		составить в среде электронных таблиц											
		Вариант	27.1	27.2	27.3	27.4	27.5						
		Расход кокса в базовом	475	450	460	455	470						
		Производительность доменной	5500	6000	7500	10000	3000						
		Изменяемые	база	ПГ, м <sup>3</sup> /т	50 70	t <sub>д</sub> , °C	950 1000	Fe в ЖРС, %	58,2 56,9	[Mn], %	0,6 0,9	M25, %	82,3 83,2

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Цифровизация процессов производства черных металлов» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

Вопросы на экзамен берутся из вопросов по контрольным работам. При сдаче экзамена обучающийся должен продемонстрировать навыки и умения по вопросам оптимизации процессов выплавки чугуна и стали, производства агломерата, обработки и разлива стали. Обучающийся должен показать умение формулировать этапы постановки задачи оптимизации по заданным параметрам, обосновать принятые решения. Обучающийся должен показать сформированность компетенций в вопросах цифрового анализа технологий в металлургическом производстве, используя прикладные программы.

При выполнении практического задания обучающийся должен показать умение составить математическую модель заданного процесса, работать **в системе электронных таблиц с использованием вкладки «Поиск решения»** для оптимизации задачи по заданным параметрам.

### **Показатели и критерии оценивания экзамена:**

– 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.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.