

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Первый проректор  
  
А.А. Каракозов  
(подпись)  
« 31 » 03 2023 года



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.01 Теория металлургических систем**

(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки:	22.03.02 Металлургия
Направленность (профиль):	Металлургия чугуна, Электрометаллургия стали, Металлургия цветных металлов,
Программа:	Бакалавриат
Форма обучения:	очная, заочная

Форма обучения:	Очная	Заочная
Семестр(ы)	3-й	4-й
Общая трудоёмкость в з.е/часах	4/144	4/144
Контактная работа (час.), в том числе:	55	12
лекции	34	4
лабораторные работы	-	-
практические (семинарские) занятия	17	2
Самостоятельная работа (час.), в том числе:	35	96
курсовой проект (работа) (семестр/час.)	-	-
Контроль (экзамен, час./зачёт)	Экзамен, 54	Экзамен, 36

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «**Теория металлургических систем**» составлена в соответствии с учебными планами по направлению подготовки 22.03.02 «Металлургия», направленность (профиль): «Металлургия чугуна», «Электрометаллургия стали», «Металлургия цветных металлов») для 2023 года приёма по очной и заочной формам обучения.

**Составитель:**

Профессор кафедры «Электрометаллургия»,  
д-р.техн.наук, доцент



(подпись)

Е.Л. Корзун

Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры «Электрометаллургия».

Протокол от «02» марта 2023 года №8.

И.о. заведующего кафедрой

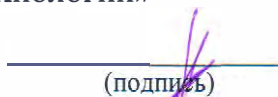


(подпись)

В.И. Заика  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **согласована с выпускающей кафедрой** «Руднотермические процессы и малоотходные технологии»

Заведующий кафедрой




(подпись)

В.В. Кочура  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **согласована с выпускающей кафедрой** «Цветная металлургия и конструкционные материалы»

Заведующий кафедрой



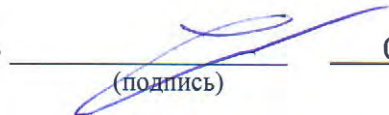
(подпись)

С.Ю. Пасечник  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 22.03.02 «Металлургия».

Протокол от «29» марта 2023 года №2

Председатель



(подпись)

С.А. Снитко  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приема на заседании кафедры «Электрометаллургия»

Протокол от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **согласована с выпускающей кафедрой** «Руднотермические процессы и малоотходные технологии»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **согласована с выпускающей кафедрой** «Цветная металлургия и конструкционные материалы»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приема на заседании кафедры «Электрометаллургия»

Протокол от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **согласована с выпускающей кафедрой** «Руднотермические процессы и малоотходные технологии»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **согласована с выпускающей кафедрой** «Цветная металлургия и конструкционные материалы»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

## 1 ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина рассматривает вопросы применения аппарата физической химии к рассмотрению теоретических вопросов высокотемпературных процессов, протекающих в металлургических системах металл – шлак – газ.

Целью преподавания дисциплины является: научить использованию основных законов и понятий физической химии для расчетов и анализа термодинамических и кинетических закономерностей процессов, протекающих в металлургических системах, разработке на этой основе технологических рекомендаций, направленных на повышение эффективности производства и качества продукции.

В результате освоения дисциплины студент должен

*знать:* основные положения химической термодинамики; основы кинетики металлургических реакций; термодинамические характеристики реакций горения газов; термодинамические характеристики реакций газификации углерода; термодинамические характеристики реакций образования и термической диссоциации оксидов; термодинамические особенности реакций восстановления оксидов железа; термодинамические характеристики процессов окислительного рафинирования; физико-химические основы процессов раскисления и дегазации металла термодинамика реакций образования и термической диссоциации карбонатов;

*уметь:* использовать термодинамический и кинетический методы для расчетов равновесных характеристик фаз и компонентов в металлургических системах (с помощью различных термодинамических моделей растворов и гетерогенных систем) и распределения компонентов между участвующими в процессах фазами (металл, шлак, газ, огнеупоры и т.д.); использовать фундаментальные понятия и законы физической химии металлургических систем для решения различных задач, в том числе прикладных; проводить термодинамические расчеты металлургических процессов; проводить поиск источников и критически оценивать информацию на основе научного подхода; пользоваться справочниками физико-химических величин; проводить лабораторные эксперименты и правильно оформлять их результаты;

*владеть:* методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий навыками проведения расчетов закономерности фазовых равновесий и кинетики превращений в многокомпонентных системах; основными физико-химическими расчетами металлургических систем и процессов, расчетными методиками оценки степени развития основных явлений, параметров и показателей процессов получения сплавов на основе железа.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования следующих компетенций:

УК-1 – способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.

## 2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

Дисциплина относится к вариативной части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 дисциплин (модулей) учебного плана.

Базируется на знаниях, умениях и навыках, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: «Высшая математика», «Химия», «Физика», «Физическая химия».

Знания, умения и навыки, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при выполнении индивидуальных заданий по дисциплине и при изучении последующих дисциплин «Металлургия чугуна», «Цветная металлургия», «Производство стали и ферросплавов».

### 3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

Наименование темы (содержательных модулей)	Количество часов (очная/заочная форма)				
	Всего	В том числе			
		Лекции	Лабор	Практ. (Семина.).	СР
Тема 1. Развитие теоретических основ металлургии.	3/3,25	2/0,25			1/3
Тема 2. Исходные положения химической термодинамики	4/5,25	2/0,25			2/5
Тема 3. Химические реакции и закон действующих масс для идеальных и реальных газов	7/6,5	2/0,25		2/0,25	3/6
Тема 4. Определение констант равновесия химических реакций при любых температурах с использованием абсолютных энтропий.	4/6	2/0			2/6
Тема 5. Термодинамический анализ наиболее распространенных металлургических газовых систем.	8/5,25	2/0		3/0,25	3/5
Тема 6. Термодинамический анализ конденсированных систем.	10/9,75	2/0,25		4/0,5	4/9
Тема 7. Термодинамические модели металлических растворов	7/8,5	2/0,25		2/0,25	3/8
Тема 8. Термодинамические модели шлаковых расплавов.	7/8,5	2/0,25		2/0,25	3/8
Тема 9. Модель шлаков, как фазы, имеющей коллективную электронную систему (МКЭ).	7/8,5	2/0,25		2/0,25	3/8
Тема 10. Строение и свойства фазовой границы.	6/7,5	4/0,5			2/7
Тема 11. Кинетика высокотемпературных процессов.	6/7,25	4/0,25			2/7
Тема 12. Термодинамика процессов высокотемпературного восстановления.	3/6,5	2/0,5			1/6
Тема 13. Металлотермическое восстановление.	4/6,25	2/0,25			2/6
Тема 14. Термодинамика окислительного рафинирования металла.	3/6,25	2/0,25			1/6
Тема 15. Термодинамика раскисления стали.	7/6,75	2/0,5		2/0,25	3/6
Контактная работа (дополнительная)	4/6				
Курсовая работа (проект)	-/-				-/-
<b>Итого по видам занятий</b>	<b>90/108</b>	<b>34/4</b>		<b>17/2</b>	<b>35/96</b>
Контроль	54/36				
<b>ИТОГО:</b>	<b>144/144</b>				

#### Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на формирование компетенции
<b>УК-1</b>	Темы 1 – 15

### 3.2 Лекции

Тема 1. Развитие теоретических основ металлургии.

Содержание темы 1: Возникновение представлений, составляющих основу точного естествознания – общего фундамента прикладных наук. Эволюция представлений о строении вещества, механизмы и кинетика процессов. Развитие теоретических основ металлургии.

Литература к теме: [1, стр.7–24, 2 стр.5].

Тема 2. Исходные положения химической термодинамики.

Содержание темы 2: Понятие системы, классификация систем с позиций термодинамики. Понятие фазы. Фаза - самая простая система, первичный объект термодинамики. Понятие компонента. Классификация термодинамических параметров системы. Понятие термодинамического процесса. Понятие внутренней энергии системы, невозможность измерения абсолютной внутренней энергии системы. Виды перехода энергии. Понятие химического потенциала компонента, фундаментальное уравнение Гиббса, вывод уравнения Гиббса-Дюгема. Понятие парциальной молярной величины. Условия равновесия термодинамической системы. Условия стабильности равновесного состояния термодинамической системы. Компоненты в задачах химической термодинамики. Элемент – общий случай химического компонента. Вывод правила фаз. Общее выражение числа степеней свободы системы. Классификация термодинамических систем по числу компонентов, по числу фаз, по числу степеней свободы.

Литература к теме: [2, стр.16-47].

Тема 3. Химические реакции и закон действующих масс для идеальных и реальных газов.

Содержание темы: Вывод уравнения изотермы химической реакции. Закон действующих масс. Способы описания термодинамических свойств реального газа. Понятие фугитивности, коэффициента фугитивности, размерность этих величин. Обоснованность применения закона действующих масс для описания поведения реальных газовых систем. Величина возможной ошибки при использовании уравнений идеального газа в практических расчетах. Влияние термодинамических параметров на равновесие химической реакции. Принцип смещения равновесия химической реакции.

Литература к теме: [2, стр.37-47].

Тема 4. Определение констант равновесия химических реакций при любых температурах с использованием абсолютных энтропий.

Содержание темы: Энтропия идеального газа и третий закон термодинамики. Определение констант равновесия химических реакций при любых температурах с использованием значения абсолютной энтропии

Литература к теме: [2, стр.16-47].

Тема 5. Термодинамический анализ наиболее распространенных металлургических газовых систем.

Содержание темы: Термодинамический анализ наиболее распространенные металлургических газовых систем  $H_2-O_2$ ,  $CO-CO_2$ ,  $CO-CO_2-H_2$ . Общая схема термодинамического анализа газовой системы, находящейся в химическом равновесии.

Литература к теме: [4, стр.7-18, 6, стр.6-22].

Тема 6. Описание равновесия конденсированных систем.

Содержание темы 6: Описание равновесия в конденсированных системах. Теплємкость конденсированных веществ. Закон Дюлонга-Пти. Правило Неймана-Коппа. Необходимость моделирования свойств конденсированных фаз. Термодинамические функции растворов.

Литература к теме: [1, стр.113-139, 2 стр.99-114].

Тема 7. Термодинамические модели металлических растворов.

Содержание темы 7: Термодинамические модели металлических растворов. Классификация моделей термодинамических параметров металлических систем. Физико-эмпирические модели, феноменологические модели. Модель регулярного раствора; модель субрегулярного раствора; модель квазирегулярных раствора; квазихимическая модель раствора.

Учет отклонений от идеальности методом Вагнера. Параметры взаимодействия Вагнера. Классификация параметров взаимодействия. Методика определения активности компонента в металлическом растворе с помощью параметров взаимодействия

Литература к теме: [1 стр.128-129, 4 стр.42-52, 6 стр.54-56].

Тема 8. Термодинамические модели шлаковых расплавов.

Содержание темы 8: Основные модели, используются для термодинамического описания шлаков. Молекулярная теория шлаков, теория совершенных ионных растворов, теория регулярных ионных растворов, полимерная модель шлаковых расплавов. Основные положения моделей шлаковых расплавов, преимущества и недостатки моделей шлаковых расплавов.

Литература к теме: [3, стр.16-47, 88-94, 133-146].

Тема 9. Модель шлаков, как фазы, имеет коллективную электронную систему (МКЭ).

Содержание темы 9: Основные положения МКЭ. Термодинамическое уравнение состояния (модель) фазы с коллективизированными электронами. Конфигурационная и электронная составляющие. Термодинамическая функция раствора, как сумма парциальных функций компонентов. Преимущества и недостатки МКЭ.

Литература к теме: [3, стр.147-155].

Тема 10. Строение и свойства фазовой границы.

Содержание темы 10: Строение и свойства фазовой границы. Адсорбция: основные понятия, закономерности. Поверхностное натяжение жидких металлов, основные факторы влияния на поверхностное натяжение металлов и сплавов. Поверхностное натяжение жидких шлаков. Явления в дисперсных системах, выражающиеся в изменении закономерностей термодинамических процессов по сравнению с закономерностями химической термодинамики, выведенными без учета свойств межфазного слоя. Условия равновесия дисперсных систем.

Литература к теме: [2 стр. 163-175, 3 стр.9-15].

Тема 11. Кинетика высокотемпературных процессов.

Содержание темы 11: Основные определения кинетики высокотемпературных процессов. Диффузия. Взаимодействие потоков. Эффект накачки, "антиэнтропийный" процесс

Литература к теме: [2 стр.113-147].

Тема 12. Термодинамика процессов высокотемпературного восстановления.

Содержание темы 12: Процессы высокотемпературного восстановления. Термодинамические условия восстановления оксидов. Термохимические расчеты. Восстановление газообразными восстановителями. Восстановление твердым углеродом из жидкого шлака. Процессы в коксовой насадке Руднотермические печи. Кинетические особенности восстановления твердым углеродом. Влияние размеров пор оксидных материалов на кинетику газового восстановления. Предел добычи металлов из шлака при восстановлении.

Литература к теме: [1 стр.224-297].

Тема 13. Металлотермическое восстановление.

Содержание темы 13: Термодинамические и кинетические особенности металлотермического восстановления. Понятие термичности шихты, его применение, расчет термичности шихты. Силикотермия. Аллюминотермия. Магниотермия. Применение ЦЗМ. Области применения металлотермического восстановления.

Литература к теме: [4 стр. 33-35, 5 стр. 120-124, 185-188].

Тема 14. Термодинамика окислительного рафинирования металла.

Содержание темы 14: Термодинамика окисления кремния, марганца, фосфора, серы, углерода. Влияние давления и шлакообразующих примесей. Влияние легирующих элементов. Распределение марганца, кремния, фосфора и серы между металлом и шлаком Характер окислительных процессов в первичной реакционной зоне. Обмен кислородом между металлом, газом и шлаком. Растворимость кислорода в сплавах на основе железа.

Литература к теме: [6, стр.280-294].

Тема 15. Термодинамика раскисления стали.

Содержание темы 15: Общая теория осадочного раскисления, термодинамика процессов взаимодействия марганца, кремния, алюминия с кислородом в растворе на основе железа.

Расчет и построение изотермы раскисления стали. Расчет и построение изотермы раскисления сплавов на никелевой основе.

Литература к теме: [3 стр. 110-132, 4 стр.61-66, 6 стр. 303-325].

### 3.3 Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Тема занятия	Объем, час. очн/заочн	Литература
1	Расчет состава неокислительной по отношению к расплавленному железу газовой смеси $\text{CO}_2 - \text{H}_2$	2/0,25	[7]
2	Определение состава равновесной газовой смеси при окислении кислородом углерода при избытке последнего	3/0,25	[7]
3	Определение температуры начала разложения карбоната в атмосфере продуктов горения топлива	2/0,25	[7]
4	Определение упругости диссоциации оксидов металлов	2/0,25	[7]
5	Расчет активности компонента металлического раствора на основе железа с помощью модели разбавленных растворов К. Вагнера	2/0,25	[7]
6	Расчет активности компонента шлака по методу ТСИР (метод В.А. Кожеурова)	2/0,25	[7]
7	Определение температурной зависимости активности серы в сталеплавильном шлаке с использованием модели шлака как фазы с коллективизированной электронной системой (МКЭ)	2/0,25	[7]
8	Определение концентрационной зависимости кислорода в стали от содержания раскислителя	2/0,25	[7]
<b>ИТОГО:</b>		17/2	

### 3.4 Лабораторные работы

Учебным планом лабораторные работы не запланированы.

### 3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. очн/заочн
1	Изучение лекционного материала	20/47
2	Подготовка к практическим занятиям	15/40
3	Подготовка к лабораторным работам	0/0
4	Выполнение курсового проекта	0/0
5	Выполнение курсовой работы	0/0
6	Выполнение индивидуального задания	0/9
<b>ИТОГО:</b>		<b>35/96</b>

### 3.6 Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

Курсовой проект (работа) по дисциплине учебным планом не предусмотрен.

Предусмотрено для студентов заочной формы обучения выполнение индивидуального задания (контрольной работы) [9]. Цель – обучение основам расчета; закрепление, углубление и обобщение знаний, приобретенных при изучении теории этой дисциплины. Индивидуальное задание оказывает содействие развитию навыков самостоятельного решения технических и/или



технологических задач. Совершенствует навыки ведения и оформление проектной документации. О выполнении индивидуального задания сообщается студентам в начале семестра, а условия к заданию предоставляется в течение месяца после начала учебного семестра после изучения соответствующего лекционного материала и/или изучения материала, который не рассматривается на лекциях. Объем учебной нагрузки при выполнении индивидуального задания – не менее 9 часов. Сдача индивидуального задания осуществляется не позднее чем за две недели до окончания учебного семестра. Выполнение индивидуального задания осуществляется в часы СРС. Рекомендуемый объем пояснительной записки по индивидуальному заданию – 5-15 страниц формата А4 (210×297 мм).

#### 4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

##### 4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

###### *Составляющая компетенции – полнота знаний*

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, неточные и неаргументированные ответы на вопросы. Допущено много грубых ошибок. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;
- средний уровень: даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

###### *Составляющая компетенции – умения*

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;
- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу. Не может найти в справочной научно-технической литературе исходные значения для расчетов;
- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе;
- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;
- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;

- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой опыт.

*Составляющая компетенции – владение навыками*

- нулевой уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Не может выполнить задания;
- минимальный уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- пороговый уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач на пороговом уровне. Задания выполняет медленно и некачественно;
- средний уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач. Задания выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- продвинутый уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, иногда допуская незначительные погрешности;
- высокий уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, при необходимости демонстрируя творческий подход.

*Обобщенная оценка сформированности компетенций*

- нулевой уровень: на нулевом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- минимальный уровень: на минимальном уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- пороговый уровень: на пороговом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- средний уровень: на среднем уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- продвинутый уровень: на продвинутом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на высоком уровне;
- высокий уровень: на высоком уровне сформированы все составляющие компетенций.

#### **4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета**

1. Дайте определение понятия системы в химической термодинамике. Классификация термодинамических систем, примеры.
2. Классификация термодинамических параметров. Приведите примеры. Что такое термодинамический процесс?
3. Основные законы термодинамики.
4. Формулировка правила фаз. Общее выражение числа степеней свободы системы.
5. Что такое химический потенциал компонента? Уравнение Гиббса-Дюгема в общем виде.
6. Условия термодинамического равновесия системы.
7. Условия стабильности термодинамического равновесия системы.
8. Обоснуйте правомерность применения термодинамического подхода к анализу равновесия химических реакций.
9. Уравнение изотермы химической реакции.
10. Каким образом изменится равновесие реакции  $2\{H_2\} + \{O_2\} = 2\{H_2O\}$  при повышении общего давления? Ответ обоснуйте.
11. Каким образом изменится равновесие реакции  $\{N_2\} + 3\{H_2\} = 2\{NH_3\}$  при добавлении в систему нейтрального газа с условием постоянства давления в системе? Ответ обоснуйте.

12. Каким образом изменится равновесие реакции  $C + \{CO_2\} = 2\{CO\}$  при повышении общего давления и избытке углерода? Ответ обоснуйте.
13. Принцип смещения равновесия (принцип Ле Шателье – Брауна).
14. Какие существуют способы описания термодинамического состояния реальных газов?
15. Закон действующих масс для газовой системы. Можно ли для практических расчетов в металлургии использовать законы идеальных газов? Ответ обоснуйте.
16. Что такое фугитивность? Ее размерность. Что такое коэффициент фугитивности компонента? Его размерность.
17. Закон действующих масс для конденсированной системы. Способы учета отклонения поведения раствора от идеальных законов.
18. Классификация растворов. Идеальные растворы.
19. Классификация растворов. Предельно-разбавленные растворы.
20. Классификация растворов. Неидеальные растворы.
21. Модели растворов, используемые для описания металлических растворов. Основные положения теории регулярных растворов. Преимущества и недостатки модели регулярных растворов.
22. Модели растворов, используемые для описания металлических растворов. Основные положения субрегулярного раствора. Преимущества и недостатки модели субрегулярных растворов.
23. Модели растворов, используемые для описания металлических растворов. Основные положения квазирегулярного раствора. Смысл параметра в модели квазирегулярных растворов.
24. Модели растворов, используемые для описания металлических растворов. Основные положения квазихимической теории растворов.
25. Какие модели используют для термодинамического описания шлаковых систем? Основные положения молекулярной теории шлаков. Достоинства и недостатки молекулярной теории шлаков.
26. Какие модели используют для термодинамического описания шлаковых систем? Основные положения модели шлаков как совершенных ионных растворов. Как рассчитывается конфигурационная энтропия для ионных расплавов?
27. Какие модели используют для термодинамического описания шлаковых систем? Основные положения модели шлаковых расплавов как регулярного ионного раствора. Как рассчитываются коэффициенты активности компонентов в модели шлаковых расплавов как регулярного ионного раствора?
28. Какие модели используют для термодинамического описания шлаковых систем? Основные положения полимерной модели шлаковых расплавов. Преимущества и недостатки полимерной модели шлаковых расплавов.
29. Основные положения модели шлака, как фазы, имеющей коллективизированную электронную систему.
30. Методика расчета активности компонента в шлаке в наиболее простом варианте МКЭ.
31. Преимущества и недостатки модели шлака, как фазы, имеющей коллективизированную электронную систему.
32. Основной принцип построения алгоритма описания термодинамического равновесия металлургической системы с использованием химических потенциалов компонентов.
33. Проанализируйте преимущества и недостатки алгоритма описания термодинамического равновесия металлургической системы с использованием химических потенциалов компонентов.
34. Определение фазовой границы, ее строение. Определение поверхностного натяжения. Уравнение энергии Гиббса для системы из компонентов с учетом поверхностных эффектов на границе раздела фаз.

35. Классификация поверхностных явлений. Понятия адсорбции и абсорбции. Что такое адсорбент и адсорбат? Адсорбционные уравнения Ленгмюра. Уравнение адсорбции Гиббса. Факторы, влияющие на величину поверхностного натяжения.
36. Дайте развернутую характеристику основных капиллярных явлений. Определение когезии, уравнение работы когезии. Определение адгезии, уравнение работы адгезии
37. Как вы понимаете понятие «краевой угол смачивания». Уравнение Юнга. Определение когезии, уравнение работы когезии. Определение адгезии, уравнение работы адгезии
38. Основные капиллярные явления. Понятие растекаемости жидкости, определение коэффициента растекания жидкости, определение величины поднятия жидкости в капилляре.
39. Дайте анализ зависимости давления в пузырьках и каплях в дисперсных системах, приведите вывод первого закона капиллярности Лапласа.
40. Дайте обоснованный ответ – может ли существовать равновесие в системе, содержащей капли жидкости (пузырьки газа) различного размера?
41. Дайте анализ понятия «скорость химической реакции», представления об элементарной стадии химической реакции и ее молекулярности. Зависимость скорости элементарной стадии химической реакции первого порядка от концентрации.
42. Понятие порядка химической реакции. Зависимость концентрации компонента при протекании элементарной стадии химической реакции первого порядка от времени. Время полупревращения для элементарной стадии химической реакции первого порядка.
43. Понятие молекулярности элементарной стадии химической реакции. Зависимость концентрации компонента при протекании элементарной стадии химической температуры второго порядка от времени. Время полупревращения для элементарной стадии химической реакции второго порядка.
44. Зависимость скорости реакции от температуры. Понятие об энергии активации.
45. Дайте развернутый анализ основных факторов, влияющих на скорость элементарной стадии химической реакции.
46. Проанализируйте изменение физических свойств железа от температуры.
47. Проанализируйте изменение физических свойств расплава на основе железа в зависимости от концентрации компонентов расплава.
48. Понятие диффузии. Движущая сила диффузии. Проанализируйте эффективность диффузии компонентов в расплаве на основе железа.
49. Почему металлы и сплавы не получают разложением соответствующих оксидов?
50. Каким способом получают металлы в промышленности?
51. Какое вещество может быть восстановителем данного оксида?
52. Условие протекания реакции восстановления оксида.
53. Что используют в черной металлургии в качестве восстановителя?
54. Приведите названия восстановительных процессов в черной металлургии, что они означают?
55. Что такое косвенное восстановление?
56. Что такое прямое восстановление?
57. Условие восстановления данного оксида водородом.
58. Существующие пути восстановления оксида железа водородом?
59. Основные реакции восстановления оксида железа водородом при  $T < 840\text{K}$ .
60. Основные реакции восстановления оксида железа водородом при  $T > 840\text{K}$ .
61. Как определить силу газообразного восстановителя при восстановлении данного оксида?
62. Какое вещество CO или водород являются более сильным восстановителем оксида железа?
63. Условие восстановления оксида железа углеродом.
64. Что такое металлотермическое восстановление и в чем оно заключается?
65. Что такое «коэффициент распределения кислорода между металлом и шлаком» и от чего зависит его величина?

66. Какие термодинамические условия определяют полноту перехода элемента из металла в шлак в результате окислительного рафинирования?
67. Перечислите источники кислорода в процессе окислительного рафинирования металла и дайте оценку их участия в процессе.
68. Чем определяется предельная степень обезуглероживания металла в процессе окислительного рафинирования?
69. Взаимосвязь между содержанием кислорода и углерода в металле в процессе окислительного рафинирования.
70. Как влияет температура и давление на равновесие реакций окисления углерода?
71. Изложите механизм процесса обезуглероживания при участии в процессе различных источников кислорода.
72. Чем оценивается окисленность металла и шлака?
73. Как влияет температура на термодинамический предел окисления углерода шлаком с заданным значением в нем активности FeO?
74. Основная цель операции раскисления стали.
75. Основные методы раскисления стали.
76. Термодинамические основы осаждающего раскисления стали.
77. Термодинамические основы вакуум-углеродного раскисления стали.

#### 4.2.1 Темы задач.

1. Определение температуры разложения карбоната, оксида.
2. Определение равновесного парциального давления кислорода при термической диссоциации оксида.
3. Определение равновесного давления кислорода при окислении углерода.
4. Определение активностей компонентов в расплаве на основе железа и равновесных парциальных давлений над расплавом с использованием параметров взаимодействия Вагнера.
5. Определение активности компонента в шлаке с использованием модели шлака как фазы с коллективизированной электронной системой.

#### 4.2.2 Примеры условий задач.

1. Рассчитайте равновесное парциальное давление кислорода при термической диссоциации оксида FeO при температуре 1873 К, и температуру начала разложения данного оксида в атмосфере воздуха при давлении 101325 Па.
2. Рассчитайте температуру начала разложения карбоната стронция  $\text{SrCO}_3$  при значении общего давления в системе 102 кПа и содержании  $\text{CO}_2$  в газовой фазе 15%.
3. Рассчитайте равновесное давление кислорода при окислении углерода до монооксида углерода. Исходные условия – в системе избыток углерода, общее давление в системе 101325 Па,  $\Delta G = -118000 - 83,77 \cdot T$  (Дж/моль). Температура системы  $T = 1873\text{К}$ .
4. Определите активности кислорода и серы в расплаве чугуна при температуре  $1350^\circ\text{C}$  и следующем составе металла (%)

C	Si	Mn	P	S	O
3,6	0,66	0,67	0,16	0,043	0,00015

5. Определите активность серы в расплаве шлака при температуре  $1350^\circ\text{C}$  и следующем составе шлака (мольные доли) с использованием модели шлака как фазы с коллективизированной электронной системой

Si	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	S	P	O
0,130	0,037	0,025	0,021	0,121	0,089	0,015	0,001	0,561

## 4.2.3 Пример экзаменационного билета

<b>ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»</b>	
Уровень высшего профессионального образования:	бакалавриат
Направление подготовки (специальность):	<u>22.03.02 «Металлургия»</u> (код, название)
Направленность (профиль)	<u>«Металлургия чугуна» «Электрометаллургия стали», «Металлургии цветных металлов»</u> (название)
Семестр:	3-й
Учебная дисциплина:	Теория металлургических систем

**БИЛЕТ № 1****Первый блок вопросов – по 10 баллов за каждый правильный ответ.**

Вопрос	Варианты ответа
1. В термодинамике понятие «изолированная система» означает, что система	А) укрыта изоляционным материалом; Б) не пропускает внутрь из окружающей среды световой поток; В) не обменивается с окружающей средой энергией и веществом; Г) все приведённые выше ответы правильные; Д) правильные ответы а) и б).
2. Экстенсивные параметры термодинамической системы (ТДС)	А) это свойства ТДС, которые пропорциональны площади поверхности системы; Б) это свойства ТДС, которые пропорциональны массе системы; В) это свойства ТДС, которые обладают аддитивностью; Г) все приведённые выше ответы правильные; Д) правильные ответы а) и в); Ж) правильные ответы а) и б); Е) правильные ответы б) и в); З) правильные ответы а), б), г);
3. Условия термодинамического равновесия фаз в системе это –	А) равенство объёмов каждой фазы; Б) равенство температур каждой фазы; В) равенство давлений каждой фазы; Г) равенство энтропии каждой фазы; Д) равенство химических потенциалов каждого компонента в различных фазах системы; Е) все приведённые выше ответы правильные; Ж) правильные ответы а) – в); З) правильные ответы а), б), г); И) правильные ответы б), в), д).
4. Поверхностное натяжение образуется в результате	А) нескомпенсированного взаимодействия между частицами конденсированной фазы на границе раздела фазы; Б) дополнительной работы системы по образованию поверхности раздела между фазами; В) все приведенные выше ответы правильные.
5. Поверхностная энергия фазы зависит от следующих факторов:	А) температуры; Б) площади раздела фаз; В) массы конденсированной фазы, приходящейся на единицу поверхности раздела; Г) состава контактирующих фаз; Д) кривизны поверхности раздела фаз; Е) давления в системе; Ж) все приведенные выше ответы правильные; З) правильные ответы а), б), г); д) И) правильные ответы а) – в); К) правильные ответы б), в), д).

**Второй блок вопросов – 15 баллов за правильный ответ.**

- Основные законы термодинамики.
- Модели растворов, используемые для описания металлических растворов. Основные положения теории регулярных растворов. Преимущества и недостатки модели регулярных растворов.

**Третий блок вопросов – 20 баллов за правильный ответ.**

- Рассчитайте равновесное давление кислорода при окислении углерода до монооксида углерода. Исходные условия – в системе избыток углерода, общее давление в системе 101325 Па,  $\Delta G = -118000 - 83,77 \cdot T$  (Дж/моль), температура системы  $T = 1873\text{K}$ .

Утверждено на заседании кафедры

Электрометаллургия  
(наименование кафедры полностью)

Протокол № от г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

Экзаменатор \_\_\_\_\_  
(подпись)

(Ф.И.О.)

Корзун Е.Л.

(Ф.И.О.)

#### 4.3 Критерии оценивания

Оценивание уровня освоения студентом учебного материала дисциплины производится в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации (семестрового контроля).

**Текущий контроль** знаний студента **очной** формы обучения осуществляется по результатам **текущей работы**. Текущая работа подразделяется на текущую аудиторную работу и текущую самостоятельную работу. **Текущая аудиторная работа** предполагает текущий контроль знаний студента по результатам учебных занятий. Объектами текущего контроля являются: посещаемость аудиторных учебных занятий; работа на занятиях; текущий опрос. **Текущая самостоятельная работа** студента обучения предполагает выполнение задания (контрольной работы) в соответствии с методическими рекомендациями.

Показатель	Максимальное количество баллов
<b>Текущая аудиторная работа:</b>	
– посещаемость аудиторных учебных занятий (за все занятия)	30
– работа на занятиях (за все занятия)	30
– текущий опрос (за все опросы)	30
<b>Текущая самостоятельная работа</b>	
– задание (контрольная работа)	10

**Текущий контроль** знаний студента **заочной** формы обучения осуществляется по результатам **текущей работы**. Текущая работа включает в себя текущую самостоятельную работу. **Текущая самостоятельная работа** студента обучения предполагает выполнение задания (контрольной работы) в соответствии с методическими рекомендациями.

Показатель	Максимальное количество баллов
<b>Текущая самостоятельная работа</b>	
– задание (контрольная работа)	100

**Промежуточная аттестация** студентов **очной и заочной** форм обучения осуществляется в форме экзамена: в экзаменационном билете предусмотрено пять тестовых заданий (первый блок вопросов), два теоретических вопроса (второй блок вопросов) и задача (третий блок вопросов).

Промежуточная аттестация	Максимальное количество баллов
– правильный ответ на каждый вопрос первого блока, который задан как тестовый (за каждый вопрос)	10
– правильный ответ на каждый вопрос второго блока, который задан как тестовый (за каждый вопрос)	15
– правильно решённая задача	20

Расчет итогового балла (**Б**) для студентов **очной и заочной** формы обучения определяется с учетом долевого участия текущей работы (**ТР**) и промежуточной аттестации (**ПА**):

$$Б = ТР * 0,3 + ПА * 0,7$$

Полученный итоговый балл по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS:

Сумма баллов по 100-балльной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо
75-79	C	
70-74	D	удовлетворительно
60-69	E	
35-59	FX	неудовлетворительно
0-34	F*	

\* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

При невыполнении всех заданий, предусмотренных учебной программой дисциплины согласно «Положению об организации учебного процесса» студенту в ведомость по курсу ставится запись «Не допущен». Студентам, которые были допущены к сдаче экзамена, но не явились на него, в ведомости ставится запись «Не явился».

#### **4.4 Пример текущего опроса на практических (семинарских) занятиях и лабораторных работах**

Текущий контроль знаний студентов производится по результатам выполнения индивидуального задания, во время контрольных опросов в ходе проведения практических занятий.

Пример текущего опроса на практическом занятии №2 по темам лекций №1 и №2:

1. Какие термодинамические параметры вы знаете?
2. Когда начали изучать теорию металлургических процессов в университетах?
3. Что такое интенсивные термодинамические параметры?
4. Что такое функция состояния?
5. Чем отличается закрытая термодинамическая система от изолированной?
6. Как формулируется первый закон термодинамики.
7. Что подразумевают под нулевым законом термодинамики?

#### **4.5 Курсовое проектирование**

Учебным планом курсовое проектирование не запланировано.

## **5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **I. Основная литература**

1. Рошин, В.Е. Физика пирометаллургических процессов: учебник / В.Е. Рошин, А.В. Рошин. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 304с. – ISBN 978-5-9729-0701-4. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/115193.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Верховлюк, А.М. Физическая химия – основа металлургических процессов: учебное пособие / А.М. Верховлюк, Г.А. Верховлюк – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 216с. – ISBN 978-5-9729-0568-3. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/115194.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей



3. Михайлов, Г.Г. Термодинамика металлургических шлаков: учебное пособие / Г.Г. Михайлов, В.И. Антоненко. – Москва: Издательский Дом МИСиС, 2013. – 173с. – ISBN 978-5-87623-729-3. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/56200.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей

## **II. Дополнительная литература**

4. Процессы получения и обработки материалов. Теория и расчеты металлургических процессов и систем: учебное пособие / Г.В. Серов, С.Н. Падерин, Е.Н. Сидорова, Д. В. Кузнецов. — Москва: Издательский Дом МИСиС, 2017. – 118с. – ISBN 978-5-906847-76-1. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/71681.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей

5. Дашевский, В. Я. Ферросплавы: теория и технология / В. Я. Дашевский. – Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 288 с. – ISBN 978-5-9729-0566-9. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/115239.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей.

6. Рощин, В. Е. Электрометаллургия и металлургия стали : учебник / В. Е. Рощин, А. В. Рощин. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 576 с. – ISBN 978-5-9729-0630-7. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/115199.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей.

## **6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Учебно-методические издания, разработанные в ДОННТУ:**

К лекциям:

7. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теория металлургических систем» для обучающихся по направлению подготовки 22.03.02 «Металлургия», для профилей «Металлургия чугуна», «Электрометаллургия стали», «Металлургия цветных металлов» [Электронный ресурс] / Составитель: Корзун Е.Л. – 1,4 Мб. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2022. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. (доступ через личный кабинет студента).

8. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Теория металлургических систем» для обучающихся по направлению подготовки 22.03.02 «Металлургия», для профилей «Металлургия чугуна», «Электрометаллургия стали», «Металлургия цветных металлов» [Электронный ресурс] / Составитель Корзун Е.Л. – 350 Кб. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2022. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. (доступ через личный кабинет студента)

9. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий по дисциплине «Теория металлургических систем» для обучающихся по направлению подготовки 22.03.02 «Металлургия», для профилей «Металлургия чугуна», «Электрометаллургия стали», «Металлургия цветных металлов» [Электронный ресурс] / Составитель: Корзун Е.Л. – 0,9 Мб. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2022. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. (доступ через личный кабинет студента)..

### **Электронно-информационные ресурсы**

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.ru/library>.

ЭБС IPR SMART – <http://www.iprbookshop.ru>.

### **Интернет-ресурсы:**

[http://nf.misis.ru/download/mt/Teoriy\\_metallurgicheskikh\\_processov.pdf](http://nf.misis.ru/download/mt/Teoriy_metallurgicheskikh_processov.pdf)

<https://www.iprbookshop.ru/107005.html>

## 7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Лекционные занятия.**

Учебная аудитория №5.037 ЭШП учебный корпус 5 для проведения занятий лекционного типа (мультимедийное оборудование: компьютер с выходом в Интернет P3/1.6GHz/512Mb/40Gb, Операционная система Linux Ubuntu 16.04 (2016), LibreOffice 4.3.0 (2015), монитор LG Studioworks 5D, видеопроектор Sony VPL-EX4 с экраном ProView 180x180 Matte White; специализированная мебель: доска аудиторная, столы и стулья).

### **Практические занятия.**

Учебная аудитория №5.035 ЭШП учебный корпус 5 для проведения практических занятий (мультимедийное оборудование: компьютеры с выходом в Интернет Duron/1.4GHz/256Mb/80Gb, Операционная система Linux Ubuntu 16.04 (2016), LibreOffice 4.3.0 (2015), компьютерная online модель процесса внепечной обработки стали доступная по ссылке <https://steeluniversity.org>, компьютерная модель для моделирования литейных процессов LVMFlow CV4.7r8 (учебная версия, лицензия №8323), разработанная в ДОННТУ компьютерная модель процесса выплавки стали и ферросплавов «ОПАКУЛ», видеопроектор Sony VPL-EX4, экран проекционный ELINSCREEHNS V119XWS1; специализированная мебель: доска для рисования маркерами, столы и стулья).

### **Самостоятельная работа.**

Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2,3. (Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС- Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 – общественная лицензия MPL 2.0/ Grub loader for ALT Linux - лицензия GNU LGPL v3/ Mozilla Firefox - лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) - лицензия GNU GPL