

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 06 » марта 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Прикладная термодинамика и кинетика  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 144 (4)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 22.04.02 Metallургия  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Металловедение и технология термической обработки сталей  
и высокопрочных сплавов  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины – формирование у студентов осознанной необходимости знаний законов и расчетных методов химической термодинамики и кинетики для анализа процессов, происходящих в металлах и сплавах.

Задачи дисциплины:

- изучение расчетных методов химической термодинамики и кинетики в применении к процессам обработки металлов;
- формирование умения выполнять расчеты термодинамических и кинетических характеристик процессов в многокомпонентных системах;
- формирование умения анализировать фазовые равновесия в металлах и сплавах.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- законы и расчетные методы термодинамики и кинетики;
- гомогенные и гетерогенные взаимодействия в металлах и сплавах;
- химические и фазовые равновесия.

### 1.3. Входные требования

Дисциплина "Прикладная термодинамика и кинетика" относится к базовой части профессионального цикла дисциплин направления 22.04.02 Metallurgy, магистерской программы "Металловедение и технология термической обработки сталей и высокопрочных сплавов".

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-1	ИД-1ОПК-1.	Знает термодинамику и кинетику фазовых превращений в металлах и сплавах	Знает закономерности фазовых превращений в металлах и сплавах.	Экзамен
ОПК-1	ИД-2ОПК-1.	Умеет прогнозировать изменения структуры и свойств металлов и сплавов с помощью термодинамического и кинетического анализа	Умеет прогнозировать изменения структуры и свойств металлов и сплавов в результате различных видов термической, химико-термической и деформационной обработки.	Индивидуальное задание

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-1	ИД-3ОПК-1.	Владеет навыками решения производственных и исследовательских задач на основе знаний термодинамики и кинетики процессов обработки металлов и сплавов.	Владеет навыками решения производственных и исследовательских задач на основе знаний видов обработки и закономерностей изменения структуры и свойств металлов и сплавов.	Защита лабораторной работы
ОПК-5	ИД-1ОПК-5.	Знает законы термодинамики и кинетики, позволяющие оценивать взаимосвязь химического состава, структуры и свойств металлов и сплавов.	Знает взаимосвязь химического состава, структуры и свойств металлов и сплавов.	Экзамен
ОПК-5	ИД-2ОПК-5.	Умеет формулировать цели, ставить задачи поиска способов и методов исследования объектов профессиональной деятельности	Умеет формулировать цели и задачи поиска научно-технической информации.	Индивидуальное задание
ОПК-5	ИД-3ОПК-5.	Владеет навыками оценки результатов термодинамического и кинетического исследований	Владеет навыками оценки результатов научно-технических разработок и научных исследований.	Защита лабораторной работы

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		2	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	20	20	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	9	9	
- лабораторные работы (ЛР)	9	9	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	88	88	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				
Химическая термодинамика и равновесие	2	0	0	22
Тема 1. Общая характеристика расчетных методов в химической термодинамике Основные понятия химической термодинамики, первый и второй законы. Соотношения и формулы для практического применения. Применение первого закона термодинамики к различным процессам, расчет тепловых эффектов. Вычисление изменения энтропии и энергии Гиббса в различных процессах. Особенности термодинамического анализа металлургических процессов. Тема 2. Химическое равновесие Химическое равновесие. Фундаментальные уравнения. Связь энергии Гиббса и константы равновесия. Термодинамический расчет константы равновесия химической реакции. Вычисление состава равновесной системы, выхода продукта, степени превращения исходных веществ.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Анализ фазовых равновесий и равновесий в растворах	2	4	0	22
Тема 3. Равновесие в растворах Термодинамическая активность. Коэффициент активности. Мольные и массовые параметры взаимодействия. Зависимость параметров взаимодействия от температуры. Расчет активностей компонентов металлургических шлаков. Расчеты равновесий в металлических растворах. Тема 4. Равновесие в гетерогенных системах Константа равновесия гетерогенной реакции. Термодинамический анализ процессов взаимодействия металлической, газовой и оксидной фаз. Термодинамический анализ окислительных процессов. Графическое изображение равновесий на диаграммах состояния. Анализ фазовых равновесий с помощью диаграмм состояния. Термодинамика диаграмм состояния.				
Кинетические характеристики гомогенных и гетерогенных процессов	1	0	0	12
Тема 5. Общая характеристика кинетических констант Скорости химических реакций. Важнейшие кинетические константы. Особенности кинетики реакций в гомогенных и гетерогенных системах. Общие закономерности реакций с участием твердых тел, основные стадии, степень превращения, формы кинетических кривых. Особенности диффузионных процессов. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Зависимость скорости реакции от температуры, энергия активации. Роль кинетики в решении задач интенсификации металлургических процессов. Особенности кинетического анализа процессов в металлических многокомпонентных системах.				
Закономерности протекания реакций с участием твердых тел	4	5	0	32
Тема 6. Кинетика реакций, лимитируемых поверхностными процессами Кинетика процессов, не сопровождающихся образованием барьерного слоя продукта реакции. Кинетические уравнения для стадии роста зародышей. Случайный и цепной механизмы зародышеобразования. Кинетическое уравнение стадии ускорения реакции. Уравнение Аврами – Ерофеева, определение констант уравнения. Тема 7. Кинетика реакций, лимитируемых диффузией реагента через барьерный слой продукта				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Кинетика реакции взаимодействия газа с твердым телом с образованием плоского барьерного слоя продукта. Процессы в системах газ – металл. Параболический закон окисления металлов. Образование барьерного слоя продукта на частицах сферической формы. Уравнения Яндера, Броунштейна-Гинстлинга. Расчет кинетических констант в процессах поглощения и удаления газов и углерода. Тема 8. Кинетика кристаллизации Основные положения теории кристаллизации жидкостей, термодинамика зародышеобразования. Радиус критического зародыша. Скорость зарождения центров кристаллизации. Линейная скорость кристаллизации. Кривые Таммана.				
ИТОГО по 2-му семестру	9	9	0	88
ИТОГО по дисциплине	9	9	0	88

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Изучение химического равновесия в гетерогенной системе
2	Кинетика гетерогенной химической реакции

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

## 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Буданов В. В. Химическая кинетика : учебное пособие для вузов / В. В. Буданов, Т. Н. Ломова, В. В. Рыбкин. - Санкт-Петербург[и др.]: Лань, 2014.	1
2	Буданов В. В. Химическая термодинамика : учебное пособие для вузов / В. В. Буданов, А. И. Максимов. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2017.	2
3	Жуховицкий А. А. Физическая химия : учебное пособие для вузов / А. А. Жуховицкий, Л. А. Шварцман. - Москва: Металлургия, 2001.	136
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Морачевский А. Г. Термодинамические расчеты в металлургии : справочник / А. Г. Морачевский, И. Б. Сладков. - Москва: Металлургия, 1993.	1
2	Падерин С. Н. Теория и расчеты металлургических систем и процессов : учебное пособие для вузов / С. Н. Падерин, В. В. Филиппов. - Москва: Изд-во МИСиС, 2002.	9
3	Падерин С. Н. Физико-химия металлов и неметаллических материалов : учебно-методическое пособие для вузов / С. Н. Падерин, Г. В. Серов. - Москва: Издат. дом МИСиС, 2007.	3
4	Прикладная химическая термодинамика : модели и расчёты : пер. с англ. / Т. Барри [и др.]. - Москва: Мир, 1988.	2
5	Физическая химия. Применение расчётных методов в химической термодинамике : учебное пособие для вузов / О. И. Бахирева [и др.]. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	290
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	

<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Морачевский А. Г. Термодинамические расчеты в химии и металлургии: учеб. пособие / А. Г. Морачевский, И. Б. Сладков, Фирсова Е.Г. – Санкт-Петербург: Лань, 2018, 208 с.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-104851">http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-104851</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Падерин С.Н. Теория и расчеты металлургических систем и процессов: учебное пособие/С.Н. Падерин, В.В. Филиппов. - М.:Изд-во МИСиС, 2002.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2294">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2294</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Буданов В. В. Химическая кинетика: учебное пособие для вузов / В. В. Буданов, Т. Н. Ломова, В. В. Рыбкин. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2014, 283 с.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lan42196">http://elib.pstu.ru/Record/lan42196</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Буданов В. В. Химическая термодинамика: учебное пособие для вузов / В. В. Буданов, А. И. Максимов. – С. Петербург [и др.]: Лань, 2017, 317 с.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lan89932">http://elib.pstu.ru/Record/lan89932</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Жуховицкий А. А. Физическая химия: учебное пособие для вузов / А. А. Жуховицкий, Л. А. Шварцман. – М.: Металлургия, 2001, 687 с.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib6521">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib6521</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

#### 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Elsevier "Freedom Collection"	<a href="https://www.elsevier.com/">https://www.elsevier.com/</a>
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Springer Nature e-books	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> <a href="http://jwww.springerprotocols.com/">http://jwww.springerprotocols.com/</a> <a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a> <a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a> <a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	<a href="https://техэксперт.сайт/">https://техэксперт.сайт/</a>

#### 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Вакууметр образцовый	1
Лабораторная работа	Весы аналитические OHAUS	1
Лабораторная работа	Манометр	2
Лабораторная работа	Милливольтметр	3
Лабораторная работа	Насос вакуумный	1
Лабораторная работа	Печь трубчатая СУОЛ 0,25	3
Лекция	Технические средства обучения не предусмотрены	1

#### 8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

### **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Прикладная термодинамика и кинетика»  
*Приложение к рабочей программе дисциплины***

<b>Направление подготовки:</b>	22.04.02 Металлургия
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	Металловедение и технология термической обработки сталей и высокопрочных сплавов
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Магистр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Курс: 1</b>	<b>Семестр: 2</b>
<b>Трудоёмкость:</b>	
Кредитов по рабочему учебному плану:	4 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	144 ч.
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	
Экзамен: 2 семестр	

Пермь 2023

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (2-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Промежуточный	
	ИЗ	ТО	ОЛР	Т/КР	Зачет	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>						
3.1 знать термодинамику и кинетику фазовых превращений в металлах и сплавах	С	ТО		КР		ТВ
3.2 знать законы термодинамики и кинетики, позволяющие оценивать взаимосвязь химического состава, структуры и свойств металлов и сплавов	С	ТО		КР		ТВ
<b>Освоенные умения</b>						
У.1 уметь прогнозировать изменения структуры и свойств металлов и сплавов с помощью термодинамического и кинетического анализа	ИЗ			КР		ПЗ
У.2 уметь формулировать цели, ставить задачи поиска способов и методов исследования объектов профессиональной деятельности	ИЗ					ПЗ

Приобретенные владения						
В.1 владеть навыками решения производственных задач на основе знаний термодинамики и кинетики процессов обработки металлов и сплавов			ОЛР			КЗ
В.2 владеть навыками оценки результатов термодинамического и кинетического исследований			ОЛР			КЗ

Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа по модулю);

ОЛР – отчет по лабораторной работе;

ИЗ – индивидуальное задание;

ТО – теоретический опрос;

С – собеседование;

ТВ – теоретический вопрос (экзамен);

ПЗ – практическое задание (задача на экзамене);

КЗ – комплексное задание (экзамен).

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## 2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

– межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

– контроль остаточных знаний.

## **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования и выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежной контрольной работы (после изучения учебных модулей дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 2 лабораторные работы. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланирована рубежная контрольная работа (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины.

#### **Типовые задания КР:**

1. Основные понятия химической термодинамики, второй закон термодинамики. Соотношения и формулы для практического применения.

2. Расчет активностей компонентов металлургических шлаков с учетом мольных и массовых параметров взаимодействия.

3. Задача. Рассчитайте константу равновесия и выход продукта реакции  $\text{FeO}_{(т)} + \text{CO}_{(г)} = \text{Fe}_{(т)} + \text{CO}_{2(г)}$  при температуре  $600^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении. Считайте, что энтальпия и энтропия реакции не зависят от температуры. Напишите выражение для константы равновесия.

4. Скорости химических реакций. Важнейшие кинетические константы. Зависимость скорости реакции от температуры, энергия активации.

5. Кинетика реакций, лимитируемых диффузией реагента через барьерный слой продукта на частицах сферической формы. Кинетические уравнения.

6. **Задача.** Образование оксида на поверхности металла лимитируется диффузией кислорода через оксидную пленку. Рассчитайте константы скорости реакции окисления при температурах  $T_1$  и  $T_2$  и энергию активации.

900°C		1000°C	
$t$ , час	$x$ , мкм	$t$ , час	$x$ , мкм
2	0,071	2	0,087
8	0,141	8	0,213

$x$  – толщина слоя оксида.

### 2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### 2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех индивидуальных заданий, отчетов лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

#### 2.4.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

##### Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Скорости химических реакций. Важнейшие кинетические константы. Особенности кинетики реакций в гомогенных и гетерогенных системах.
2. Термодинамическая активность. Коэффициент активности. Мольные и массовые параметры взаимодействия. Зависимость параметров взаимодействия от температуры.

3. Кинетика реакций взаимодействия газа с твердым телом с образованием плоского барьерного слоя продукта. Процессы в системах газ – металл. Параболический закон окисления металлов.

**Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Способы расчета теплового эффекта химической реакции при различных температурах.

2. Определение констант в уравнении Авраами – Ерофеева с помощью данные кинетического эксперимента.

3. Способы расчета активностей компонентов металлургических шлаков.

**Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. Провести термодинамическое обоснование возможности протекания реакции при данной температуре. Рассчитать константу равновесия. Указать условия, способствующие смещению равновесия в сторону прямой реакции.

2. Проанализировать результаты кинетического эксперимента. Рассчитать энергию активации реакции. Определить область протекания гетерогенного процесса.

3. Процесс восстановления оксида железа водородом лимитируется образованием и ростом зародышей фазы продукта. Подберите кинетическое уравнение, описывающее данный процесс. Определите кинетические константы, используя данные кинетического эксперимента.

*Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

#### **2.4.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности

компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.