

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Передовая инженерная школа атомного машиностроения
и систем высокой плотности энергии (ПИШ)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ПИШ:

_____ А.В. Тумасов

“20” марта 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.1.1 ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

для подготовки магистров

Направление подготовки: 18.04.01 Химическая технология

Направленность: Техника и технологии водородной энергетики

Форма обучения: Очная

Год начала подготовки: 2025

Выпускающая кафедра: ТЭПиХОВ

Кафедра-разработчик: ТЭПиХОВ

Объем дисциплины: 180/5
часов/з.е

Промежуточная аттестация: экзамен (2 семестр)

Разработчик: Курский Ю.А., д.х.н., профессор

Нижний Новгород

2025

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 07 августа 2020 г. № 910 на основании учебного плана, принятого УМС НГТУ, протокол от 19.12.2024 г. № 7.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры «Технология электрохимических производств и химии органических веществ»

Протокол заседания от «03» марта 2025 г. №6

Зав. кафедрой к.т.н., доцент, Ивашкин Е.Г. _____

Рабочая программа рекомендована к утверждению ученым советом института физико-химических технологий и материаловедения

Протокол заседания от «20» марта 2025 г. №6

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 18.04.01-в-18

Начальник МО _____ Е.Г.Севрюкова

Заведующая отделом комплектования НТБ

Н.И. Кабанина

(подпись)

Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ	7
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ	8
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	12
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	14
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА	14
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА	14
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ	15
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	15
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	15
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ.....	15
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ	16
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	16
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ. 18	
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	18
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА	19
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	19
11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	20
11.1. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	20
11.2. ТИПОВЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ.....	20
11.3. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ В ФОРМЕ ЭКЗАМЕНА	20

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения дисциплины являются формирование у студентов общего физико-химического мировоззрения, научного способа мышления, умения видеть естественнонаучное содержание проблем, возникающих в практической деятельности инженера-химика.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

- освоение основных теорий неравновесной термодинамики и кинетики в потоке, позволяющих описать технологический процесс, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач;
- формирование у студентов основ естественнонаучной картины мира;
- формирование навыков по применению положений химической кинетики и неравновесной термодинамики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться в своей практической деятельности и при освоении новых технологий;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Термодинамика и кинетика химических процессов» включена в перечень дисциплин по выбору обязательной части образовательной программы 18.04.01 Химическая технология, программы магистратуры «Техника и технологии водородной энергетики».

Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП, по данной программе подготовки.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Химия», «Физика», «Математика», «Общая химическая технология», «Химическая технология природных энергоносителей» в объёме курса бакалавриата.

Полученные знания необходимы для изучения предметов по профилю подготовки «Топливные элементы и водородная энергетика», «Технологии и очистки газов для водородной энергетики», «Преддипломная практика»; «Технологическая практика», «Научно-исследовательская работа», подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующих общепрофессиональных компетенций в соответствии с ОПОП ВО по специальности: 18.04.01 «Химическая технология».

ПК-2. Готов к внедрению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники и передовой технологии по переработке нефти и газа

Таблица 3.1 – Формирование компетенций дисциплинам

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины			
	1	2	3	4
ПК-2				
Б1.В.ОД.1.1 Получение водорода методом электролиза				
Б1.В.ОД.1.3 Биологические методы получения водорода				
Б1.В.ОД.2.2 Использование водорода в химической технологии				
Б1.В.ОД.4 Технологические основы и технология очистки газов для водородной энергетики				
Б1.В.ОД.5 Научные основы процессов массопереноса и разделения				
Б1.В.ДВ.1.1 Термодинамика и кинетика химических процессов				
Б2.П.1 Научно-исследовательская работа				
Б2.П.2 Технологическая практика				
Б2.П.3 Научно-исследовательская работа				
Б2.П.4 Преддипломная практика				
Б3.Д.1 Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы				

3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП

Таблица 1 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине				Оценочные средства	
						Текущего контроля	Промежуточной аттестации
Тип профессиональной деятельности – научно-исследовательский							
Трудовая функция: (ПС 19.083) D/03.7 Организация работ по повышению эффективности производства ВСГ							
ПК-2. Готов к внедрению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники и передовой технологии по переработке нефти и газа	ИПК-2.2. Анализирует риски и изменение эффективности работы технологических установок при внедрении новой техники и технологий глубокой переработки нефти и газа	Знать: технологию переработки нефти, физические, физико-химические и химические основы технологических процессов; тенденции развития техники и технологии переработки нефти и газа.	Уметь: применять термодинамические и кинетические закономерности для исследования химических процессов; формировать предложения по осуществлению разработанных проектов и производственных программ; оценивать риски при внедрении новой техники и технологии глубокой переработки нефти и газа.	Владеть: навыками организации разработки планов внедрения новой техники и технологии; опытом постановки целей и задач научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.	Опрос. Реферат	Экзамен	

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зач. ед. 180 часов, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость	
	Всего час.	В т.ч. по семестрам
		2 сем
Формат изучения дисциплины	очная	
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	180	180
1. Контактная работа:	75	75
1.1.Аудиторная работа, в том числе:	68	68
занятия лекционного типа (Л)	17	17
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)	17	17
лабораторные работы (ЛР)	34	51
Контроль (КСР)	7	7
1.2.Внеаудиторная, в том числе		
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)		
текущий контроль, консультации по дисциплине		
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)		
2. Самостоятельная работа (СРС)	78	78
реферат/эссе (подготовка)	8	8
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)		
контрольная работа		
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)		
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям и т.д.)	70	70
Подготовка к экзамену (контроль)	27	27

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 3 – Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемы е) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов			
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия				
2 семестр								
ПК-2 ИПК-2.2.	Раздел 1. Кинетика в потоке						Презентации	
	Тема 1.1. Термодинамические системы. Энтропия.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.4]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.	
	Тема 1.2. Температура и количественные газовые законы.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.4]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.	
	Лабораторная работа 1 по теме 1.2.		1,5		2	Подготовка к ЛР [6.1.4]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов	
	Сдача отчетов по ЛР 1		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР	
	Тема 1.3. Эффект Джоуля-Томсона. Сжижение газов	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.4]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.	
	Лабораторная работа 2 по теме 1.3.		1,5		2	Подготовка к ЛР [6.1.4]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов	
	Сдача отчетов по ЛР 2		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР	
	Тема 1.4. Кинетика химических реакций в открытых системах.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.4], [6.2.1]	Лекция с частичным привлечением формы	

	Реакторы идеального вытеснения.					дискуссии, беседы.	
	Практическое занятие 1 по теме 1.4.			4	4	Подготовка к практическому занятию [6.2.1]	Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Тема 1.5. Реакторы идеального смешения.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.4], [6.2.1]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.
	Практическое занятие 2 по теме 1.5.			4	4	Подготовка к практическому занятию [6.2.1]	Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Тема 1.6. Обратимые реакции в потоке. Последовательные реакции в потоке.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.4], [6.2.1]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.
	Лабораторная работа 3 по теме 1.6.		2		2	Подготовка к ЛР [6.2.1]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Сдача отчетов по ЛР 3		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР
	Практическое занятие 3 по теме 1.6.			4	4	Подготовка к практическому занятию [6.2.1]	Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела.				27		
	Итого по 1 разделу	6	8,0	12	27		
ПК-2 ИПК-2.2.	Раздел 2. Линейная неравновесная термодинамика						Презентации
	Тема 2.1. Изменение энтропии в открытой системе	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.2]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.
	Лабораторная работа 4 по теме 2.1.		1,5		2	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.2]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Сдача отчетов по ЛР 4		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР
	Практическое занятие 4 по теме 2.1.			4	4	Подготовка к практическому занятию [6.1.1]	Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Тема 2.2. Принцип детального равновесия и производство энтропии в химических реакциях.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.2]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.
	Лабораторная работа 5 по теме 2.2.		2,0		2	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.2]	Компьютерное моделирование. Коллективно-

						групповое обсуждение результатов	
	Сдача отчетов по ЛР 5		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР
	Тема 2.3. Линейные феноменологические законы. Соотношение взаимности Онсагера.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.2]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.
	Лабораторная работа 6 по теме 2.3.		2,0		2	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.3]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Сдача отчетов по ЛР 6		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР
	Тема 2.4. Теорема о минимуме производства энтропии.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.2]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.
	Лабораторная работа 7 по теме 2.4.		1,5		2	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.3]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Сдача отчетов по ЛР 7		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР
	Тема 2.5. Изменение производства энтропии во времени и устойчивость стационарного состояния.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.2]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.
	Лабораторная работа 8 по теме 2.5.		1		1	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.3]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов
	Сдача отчетов по ЛР 8		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела.				23		
	Итого по 2 разделу	5	13,0	4	23		
ПК-2	Раздел 3. Нелинейная термодинамика						Презентации
ИПК-2.2.	Тема 3.1. Далёкие от равновесия системы. Ячейки Бенара.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.3]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.

	Практическое занятие 5 по теме 3.1.			1	1	Подготовка к практическому занятию [6.1.3]	Коллективно-групповое обсуждение результатов	
	Тема 3.2. Устойчивость неравновесных стационарных состояний	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.2]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.	
	Лабораторная работа 9 по теме 3.1.		1,5		1,5	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.3]	Демонстрационный опыт. Коллективно-групповое обсуждение результатов	
	Сдача отчетов по ЛР 9		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР	
	Тема 3.3. Потеря устойчивости, бифуркация.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.3]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.	
	Лабораторная работа 10 по теме 3.3.		1,5		1,5	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.3]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов.	
	Сдача отчетов по ЛР 10		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР	
	Тема 3.4. Термическая устойчивость работы химического реактора.	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.3]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.	
	Лабораторная работа 11 по теме 3.4.		1,5		1,5	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.3]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов.	
	Сдача отчетов по ЛР 11		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР	
	Тема 3.5. Колебания в системе «хищник – жертва».	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.3]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.	
	Лабораторная работа 12 по теме 3.5.		1,5		1,5	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.3]	Компьютерное моделирование. Коллективно-групповое обсуждение результатов	
	Сдача отчетов по ЛР 12		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР	
	Тема 3.6. Реакция Белоусова – Жаботинского	1			1	Проработка лекций и литературы [6.1.1], [6.1.3]	Лекция с частичным привлечением формы дискуссии, беседы.	

	Лабораторная работа 13 по теме 3.6.		2,0		2	Подготовка к ЛР [6.1.1], [6.1.3]	Демонстрационный опыт. Коллективно-групповое обсуждение результатов	
	Сдача отчетов по ЛР 13		1		1	Оформление отчета по ЛР	Защита ЛР	
	Самостоятельная работа по освоению 3 раздела.				20			
	Итого по 3 разделу	6	13,0	1	20			
	реферат, эссе (тема)				8	Оформление реферата, подготовка презентации	Коллективно-групповое обсуждение доклада	
	расчётно-графическая работа (РГР)							
	контрольная работа							
	ИТОГО за 2 семестр	17	34	17	78			
	ИТОГО по дисциплине	17	34	17	78			

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам лабораторных работ и примеры заданий для практических работ.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме экзамена во 2 семестре.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре ТЭПи ХОВ.

При промежуточном контроле (экзамен) успеваемость студентов оценивается по четырехбалльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 4 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПК-2. Готов к внедрению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники и передовой технологии по переработке нефти и газа	ИПК-2.2. Анализирует риски и изменение эффективности работы технологических установок при внедрении новой техники и технологий глубокой переработки нефти и газа	Не знает технологию переработки нефти, физические, физико-химические и химические основы технологических процессов; тенденции развития техники и технологии переработки нефти и газа. Не умеет применять термодинамические и кинетические закономерности для исследования химических процессов; формировать предложения по осуществлению разработанных проектов и производственных программ; оценивать риски при внедрении новой техники и технологии глубокой переработки нефти и газа	Слабо знает технологию переработки нефти, физические, физико-химические и химические основы технологических процессов; тенденции развития техники и технологии переработки нефти и газа. Слабо умеет применять термодинамические и кинетические закономерности для исследования химических процессов; формировать предложения по осуществлению разработанных проектов и производственных программ; оценивать риски при внедрении новой техники и технологии глубокой переработки нефти и газа	Не уверенно знает технологию переработки нефти, физические, физико-химические и химические основы технологических процессов; тенденции развития техники и технологии переработки нефти и газа. Не уверенно умеет применять термодинамические и кинетические закономерности для исследования химических процессов; формировать предложения по осуществлению разработанных проектов и производственных программ; оценивать риски при внедрении новой техники и	Абсолютно знает технологию переработки нефти, физические, физико-химические и химические основы технологических процессов; тенденции развития техники и технологии переработки нефти и газа. Абсолютно умеет применять термодинамические и кинетические закономерности для исследования химических процессов; формировать предложения по осуществлению разработанных проектов и производственных программ; оценивать риски при внедрении новой техники и

		Не владеет навыками организации разработки планов внедрения новой техники и технологии; опытом постановки целей и задач научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.	Слабо владеет навыками организации разработки планов внедрения новой техники и технологии; опытом постановки целей и задач научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.	технологии глубокой переработки нефти и газа Не уверенно владеет навыками организации разработки планов внедрения новой техники и технологии; опытом постановки целей и задач научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.	технологии глубокой переработки нефти и газа Абсолютно владеет навыками организации разработки планов внедрения новой техники и технологии; опытом постановки целей и задач научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.
--	--	--	---	---	---

Таблица 5 – Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда, электронные издания.

1. Пригожин, И. Современная термодинамика от тепловых двигателей до диссипативных структур: [пер. с англ.] / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2002. – 461 с. <https://bookree.org/reader?file=485308>
2. Пригожин, И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках: [пер. с англ.] / И. Пригожин – М: Наука, 1985. – 327 с. [al24.ru>wp-content/uploads/2015/06/при_1.pdf](http://al24.ru/wp-content/uploads/2015/06/при_1.pdf)
3. Осипов, А.И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Ч. 2. Неравновесная термодинамика / А. И. Осипов // Соросовский образовательный журн. – 1999. – № 5. – С. 91-97. [window.edu.ru>resource/678...files/9905_091.pdf](http://window.edu.ru/resource/678...files/9905_091.pdf)
4. Эммануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. М: «Высш. школа», 1969. [dl.booksee.org>genesis...YEmanuyel_N...Knorre_D...Kurs...](http://dl.booksee.org/genesis...YEmanuyel_N...Knorre_D...Kurs...)

6.2. Справочно-библиографическая литература

1. Колпакова Н.А., Романенко С.В., Колпаков В.А. Сборник задач по химической термодинамике. Томск: Изд-во Томского политех. ун-т, 2008. [twirpx.club>file/1344630/](http://twirpx.club/file/1344630/)

6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Термодинамика и кинетика химических процессов» для магистрантов направления 18.04.0 – «Химическая технология» магистерская программа «Техника и технологии водородной энергетики» находятся на кафедре ТЭПиХОВ.

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронный ресурс библиотеки НГТУ (<https://e.lanbook.ru/>) Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 6 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	http://www.studentlibrary.ru/
2	Лань	https://e.lanbook.com/
3	Юрайт	https://biblio-online.ru/
4	TNT-ebook	https://www.tnt-ebook.ru/

В таблице 7 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 7 – Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	https://cyberpedia.su/21x47c0.html

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 8 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 8 – Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

№	Наименование аудиторий и помещений кафедры	Оснащенность аудиторий и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	1160 лаборатория СОП Экспериментальная лаборатория «Лаборатория плазмохимические технологии», компьютерный класс (для проведения занятий лабораторного и практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы	1. Доска магнитно-маркерная; 2. Рабочее место преподавателя; 3. Рабочее место студента - 12 чел. 4 Персональные компьютеры, Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30 GHz 4,00 ГБ ОЗУ /HDD 500, в составе локальной вычислительной сети, с подключением к интернету. (10 шт.) 5. Персональные компьютеры, Intel(R) Pentium(R) CPU G2030 @ 3.00 GHz 4,00 ГБ ОЗУ /HDD 1000, в	1. Windows SL 8.1 (подписка Dr. Spark Prem. 700087777); (13 шт) 2. Adobe Acrobat Reader X (Freeware); 3. Ms Office St 2013 (Ms Open License № 62381369) (13 шт); 4. Ms Access 2007(Dr. Spark Prem. 700087777) (13 шт); 5. AutoCAD 2019 (Сетевая серв.lic5 (НГТУ)) (13 шт); 6. Dr.Web (Обще инстит.

№	Наименование аудиторий и помещений кафедры	Оснащенность аудиторий и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
	студентов, курсового проектирования, выполнения курсовых работ); 603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, дом 24, корп. 1	составе локальной вычислительной сети, с подключением к интернету. (3 шт.); 6. Персональные компьютеры, Intel(R) Core(TM)2 CPU 6320 @ 1.86 GHz 1,00 ГБ ОЗУ /HDD 159,9, в составе локальной вычислительной сети, с подключением к интернету. (2 шт.); 7. Многофункциональный аппарат Xerox work center PE 220 8. Принтер HP LaserJet 1020 9. программный комплекс «Переработка нефти и газа» (ООО «ПрограмЛаб») 10. программный комплекс ПО «AEROSYM» это аналог зарубежного ПО «HYSYS».	подписка) (15 шт); 7. ZView (Freeware); 8. AnyLogic (Free PLE); 9. Deductor Academic (бесплатная некоммерческая версия Deductor); 10. VirtualBox (Free); 11. Cell-Design (Demo); 12. Малая ЭС 2.0 (Free); 13. ADTester (Free); 14. DBSolveOptimum (Free); 15. MSOffice 2007 Standard Russian Academic OPEN No Level (Microsoft Open License Academic № 45990647 (бессрочная)) (1 шт.); 16. WinXP (Dream Spark Premium 700087777) (2 шт.); 17. ABBYY Fine Reader 9.0 Corporate Edition (AF90-3S1P03-102 бессрочная) (1 шт.); 18. Zoom (Free) (1 шт.).
2	1345 Мультимедийная аудитория (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации) (кафедра «Технология электрохимических производств и химии органических веществ»), 603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, дом 24, корп. 1	1. Доска меловая; 2. Экран настенный; 3. Рабочее место преподавателя; 4. Рабочее место студента - 28 чел. 5. Мультимедийный проектор Epson ER; 6. Персональный компьютер, Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30 GHz 4,00 ГБ ОЗУ /HDD 500.	1. Windows SL 8.1 (подписка Dr. Spark Prem, договор № 0509/KMP от 15.10.18); 2. Dr.Web (с/н ZNFC-CR5D-5U3U-JKGP от 20.05.2024) Распространяемое по свободной лицензии: 3 Adobe Acrobat Reader X (Freeware); 4. P7 офис 5. Zoom (Free) (1 шт.)
3	1222 Лабораторный зал лаборатория СОП Экспериментальная лаборатория «Лаборатория плазмохимические технологии» (для проведения занятий лабораторного и практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации) (кафедра «Технология электрохимических производств и химии органических веществ»), 603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, дом 24, корп. 1	1. Доска меловая; 2. Термостат; 3. Прибор для определения температуры плавления; 4. Рефрактометр ИРФ-454Б; 5. Весы лабораторные ShinkoDenshi AJ-420CE; AJ-220 CE; 6. Аппарат для разгонки нефти и нефтепродуктов - АРН-ЛАБ-11; 7. Аппарат испытательный для определения анилиновой точки нефтепродуктов АТ-ПХП; 8. Автоматический аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВ3-ЛАБ-12 (LOIP LP093A2); 9. Аппарат для определения смол выпариванием струёй воздуха ТОС-ЛАБ-02 (LOIP LP-381); 10. Ротационный испаритель RE-2000. 11 Прибор для определения температуры плавления; 12 Рефрактометр ИРФ-454Б; 13 Весы лабораторные ShinkoDenshi AJ-420CE; AJ-220 CE;	

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся, написания реферата и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Термодинамика и кинетика химических процессов», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ТЭП и ХОВ» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях, практических и лабораторных занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на лабораторных занятиях, практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Промежуточная аттестация и оценка знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций проводится в форме экзамена с учетом текущей успеваемости и реферата.

Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается несформированным, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует

необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

10.2. Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 3). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к написанию реферата и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах.

1. Неравновесная термодинамика и кинетика в потоке // Ю.А.Курский, И.В. Бодриков, Е.Ю. Титов // Н.Новгород, [Изд-во НГТУ], 2024, 115с.

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

10.4. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях.

1. Неравновесная термодинамика и кинетика в потоке // Ю.А.Курский, И.В. Бодриков, Е.Ю. Титов // Н.Новгород, [Изд-во НГТУ], 2024, 115с.

10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в разделе 9). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины. Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре ТЭПиХОВ.

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- теоретический опрос по практическим и лабораторным работам;
- написание реферата и доклад по теме реферата;
- экзамен.

11.1. Типовые вопросы для практических и лабораторных работ

1. Задача для практических работ. Раствор этилацетата с концентрацией $1,21 \cdot 10^{-2}$ кмоль/м³ и раствор едкого натра с концентрацией $4,62 \cdot 10^{-2}$ кмоль/м³ подают со скоростью $3,12 \cdot 10^{-3}$ и $3,14 \cdot 10^{-3}$ кмоль/с в непрерывно действующий реактор идеального смешения. Объем жидкости в реакторе поддерживается равным 6 м³. реакция является реакцией первого порядка, $k = 0,11 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{с})$. Рассчитайте концентрацию этилацетата в растворе на выходе из реактора при стационарном режиме и степень её превращения.

2. Задача для практических работ. Определите объем реактора идеального вытеснения, в котором должна происходить реакция $A \rightarrow \text{продукты}$, если степень превращения вещества равна 0,2. Константа скорости этой реакции $0,005 \text{ с}^{-1}$, а объемная скорость подачи исходного вещества $\nu = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}$.

3. К лабораторной работе № 9. Ячейки Бенара (диссипативные структуры):

- Докажите, что система создаёт отрицательную энтропию ($S = Q/T$).
- Объясните, за счёт чего в системе поддерживается самоорганизация или «диссипативные структуры».
- Рассмотрите систему Земля – энергия Солнца.
- Объясните, как на Земле могут возникать и поддерживаться процессы самоорганизации.

4. К лабораторной работе № 10. Модель Лотки (колебательная реакция):

- Исследуйте изменения в зависимости от значения константы k_2 в диапазоне от 0,1 до 0,8.
- При каких значениях константы k_2 колебания в системе отсутствуют?
- Исследуйте зависимость периода колебаний от значения константы k_1 .

11.2. Типовые темы рефератов

1. Реальные газы. Эффект Джоуля-Томпсона. Сжижение газов.
2. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Фазовый переход газ – жидкость.
3. Реактор идеального вытеснения. Особенности газофазной реакции в потоке.
4. Реактор идеального смешения. Установление стационарной концентрации.
5. Химические процессы в проточных системах. Явления «ложного старта» и «перелёта».
6. Термодинамические силы и потоки в системах с пространственной неоднородностью. Перенос теплоты за счет теплопроводности и вещества за счет диффузии.
7. Нелинейная неравновесная термодинамика. Образование диссипативных структур.
8. Устойчивость состояний в нелинейной неравновесной термодинамике. Точки бифуркации.
9. Химические колебания. Реакция Белоусова-Жаботинского.

11.3. Типовые вопросы для промежуточной аттестации в форме экзамена

1. Температура и количественные газовые законы.
2. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
3. Фазовые равновесия и фазовые диаграммы.

4. Реальные газы. Эффект Джоуля-Томпсона.
5. Реальные газы. Сжижение газов.
6. Химические процессы в проточных системах.
7. Химические процессы в проточных системах: время контакта.
8. Реактор идеального вытеснения: реакция первого порядка в жидкой фазе.
9. Реактор идеального вытеснения: реакция первого порядка в газовой фазе.
10. Реактор идеального смешения: стационарный режим.
11. Реактор идеального смешения: уравнение кинетических кривых реакций 1-го и 2-го порядка.
12. Реактор идеального смешения: равновесие в обратимой реакции.
13. Температурная устойчивость работы химического реактора идеального смешения.
14. Реактор идеального смешения: уравнение кинетических кривых для двух последовательных реакций первого порядка, «ложный старт», «перелёт».
15. Тепловой взрыв.
16. Разветвленные цепные реакции. Цепной взрыв.
17. Термодинамические системы: изолированные, закрытые, открытые.
18. Второе начало термодинамики в открытых системах.
19. Определение линейной термодинамики неравновесных процессов.
20. Примеры изменения энтропии, вызванные необратимыми процессами.
21. Принцип детального равновесия и производство энтропии в химических реакциях.
22. Линейные феноменологические соотношения потоков и сил.
23. Локальное производство энтропии.
24. Соотношение Онсагера.
25. Принцип симметрии (принцип Кюри).
26. Соотношение взаимности Онсагера в термоэлектрических явлениях.
27. Стационарные состояния в неравновесных условиях.
28. Принцип макроскопической обратимости или детального равновесия.
29. Термодинамические силы и термодинамические потоки.
30. Химическое сродство – движущая сила реакции.
31. Скорость реакции – термодинамический поток.
32. Производство энтропии в химической реакции.
33. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии.
34. Фиксированные силы, связанные с ними потоки и свободные потоки в линейном стационарном режиме.
35. Изменение производства энтропии во времени и устойчивость стационарного состояния.
36. Нелинейная неравновесная термодинамика.
37. Системы, далёкие от равновесия.
38. Ячейки Бенара.
39. Стационарные состояния в неравновесных условиях.
40. Вторая вариация энтропии как функционал Ляпунова.
41. Примеры использования критерия устойчивости.
42. Потеря устойчивости, бифуркации.
43. Образование диссипативных структур.
44. Нелинейная неравновесная термодинамика.
45. Линейный анализ устойчивости.
46. Колебания концентраций в химической реакции. Брюсселятор.
47. Колебания в системе «хищник – жертва».
48. Реакция Белоусова-Жаботинского.
49. Образование пространственных диссипативных структур.
50. Образование временных диссипативных структур.