



## **МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Факультет химический*

*Кафедра неорганической химии и химической экологии*

«Утверждаю»

Проректор по научной работе и  
инновациям

Н.А. Ашурбеков

9 » марта 2021 г.



### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«САМООРГАНИЗАЦИЯ В ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**

**по направлению подготовки: 04.06.01 - Химические науки**

Уровень образования: подготовка кадров высшей квалификации  
(аспирантура)

**Квалификация (степень) выпускника:**

**«Исследователь. Преподаватель-исследователь»**

**Статус дисциплины: вариативная часть дисциплина по выбору**

**Махачкала 2021**

Рабочая программа дисциплины «Самоорганизация в химических системах» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки: 04.06.01 – Химические науки квалификация выпускника: «Исследователь. Преподаватель-исследователь»

от «30» июля 2014г. №869.


Разработчик: кафедра неорганической химии и химической экологии, Гасангаджиева У.Г. к.х.н., доцент

Рабочая программа дисциплины одобрена:  
на заседании кафедры неорганической химии и химической экологии  
от «26» января 2021г., протокол № 5

Зав. кафедрой  Исаев А.Б.  
(подпись) (Ф.И.О.)

на заседании Методической комиссии химического факультета  
от «19» февраля 2021г., протокол №6.

Председатель  Гасангаджиева У.Г.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа дисциплины согласована с Управлением аспирантуры и докторантуры «19» 03 2021г.  Рамазанова Э.Т.  
(подпись) (Ф.И.О.)

## Аннотация

Дисциплина «Самоорганизация в химических системах» входит в вариативную часть дисциплин по выбору (блок Б1.В.ДВ.2) базовой части образовательной программы аспирантуры по направлению 04.06.01 – Химические науки.

Дисциплина реализуется на химическом факультете Дагестанского государственного университета кафедрой неорганической химии и химической экологии.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами исследования динамических систем и диссипативных структур различной природы, установлением эволюционных критериев динамических систем, методами определения причин потери устойчивости физико-химическими системами; методами управления систем с хаотическим поведением.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общепрофессиональных – **ОПК-1**; профессиональных – **ПК-1, ПК- 2, ПК-3, ПК-7**.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме контрольных работ и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины **2** зачетные единицы, в том числе **72** в академических часах по видам учебных занятий.

## 1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям обучающегося в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, и обучающихся направления подготовки 04.06.01. Химические науки, изучающих дисциплину «Самоорганизация в химических системах».

Программа разработана в соответствии с:

- Федеральным государственным образовательным стандартом <http://science.dgu.ru/eduprogram/04.06.01.pdf>, утвержденным приказом Минобрнауки РФ от 30 июля 2014г. №869;
- Образовательной программой 04.06.01 Химические науки;
- Учебным планом университета по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, утвержденным в 2021 г.

Объем дисциплины 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий 72 академических часа.

Год	Учебные занятия						СРС, в том числе зачет	Форма промежуточной аттестации (зачет)
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
	Все го	из них						
		Лекц ии	Лаборатор ные занятия	Практич еские занятия	КСР	консульт ации		
2	72	6	-	4	-	-	52	зачет

## Цели и задачи освоения дисциплины:

Целями освоения дисциплины «Самоорганизация в химических системах» являются ознакомление аспирантов с основными методами исследования динамических систем и диссипативных структур различной природы

Основными **задачами**, решаемыми в процессе изучения курса, являются развитие у обучающихся навыков по:

- изучению динамических систем и диссипативных структур;
- прогнозированию эволюции физико-химических систем;
- выявлению причин, приводящих к потере устойчивости систем;
- определению параметров ведения процесса для обеспечения устойчивого режима;
- методам управления систем с хаотическим поведением.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

В результате освоения программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине (модулю):

Коды компетенции	Результаты освоения ОПОП Содержание компетенций*	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ОПК-1</b>	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	<b>знать:</b> цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; основные источники научной информации и требования к представлению информационных материалов. <b>уметь:</b> составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты. <b>владеть:</b> систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме.
<b>ПК-1</b>	наличие представления о наиболее актуальных направлениях исследований в современной теоретической и	<b>знать:</b> современное состояние науки в области современной теоретической и экспериментальной химии.

	экспериментальной химии	<p><b>уметь:</b> представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях.</p> <p><b>владеть:</b> методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций в области современной теоретической и экспериментальной химии.</p>
<b>ПК-2</b>	знание основных этапов и закономерностей развития химической науки, пониманием объективной необходимости возникновения новых направлений, наличием представления о системе фундаментальных химических понятий и методологических аспектов химии, форм и методов научного познания, их роли в общеобразовательной профессиональной подготовке химиков	<p><b>знать:</b> теоретические основы традиционных и новых разделов химии и способы их использования при решении конкретных химических и материаловедческих задач.</p> <p><b>уметь:</b> анализировать и обрабатывать научно-техническую информацию на основе теоретических представлений традиционных и новых разделов химии.</p> <p><b>владеть:</b> навыками обработки и анализа научно-технической информации и результатов отдельных этапов работ с учетом теоретических основ традиционных и новых разделов химии.</p>
<b>ПК-3</b>	владение теорией и навыками практической работы в избранной области химии (в соответствии с темой диссертации)	<p><b>знать:</b> методы построения моделей изучаемых объектов.</p> <p><b>уметь:</b> анализировать и обобщать результаты эксперимента, формулировать выводы.</p> <p><b>владеть:</b> навыками планирования, анализа и обобщения результатов эксперимента.</p>
<b>ПК-7</b>	умение представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчетов и научных публикаций	<p><b>знать:</b> методы представления полученных в исследованиях результатов в виде отчетов и научных публикаций</p> <p><b>уметь:</b> представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчетов и научных публикаций</p> <p><b>владеть:</b> навыками представления полученных в исследованиях результатов в виде отчетов и научных публикаций</p>

В результате изучения дисциплины обучающийся осваивает следующие компетенции:

общепрофессиональные	ОПК-1	<p><i>владеет</i> навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов.</p> <p><i>осуществляет</i> личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом.</p> <p><i>знает</i> современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.</p>	<p>лекции, практические занятия, самостоятельная работа</p> <p>устный опрос, контрольная работа, коллоквиум</p>
профессиональные	ПК-1	<p><i>проводит</i> и протоколирует химические эксперименты разного уровня сложности.</p> <p><i>способен</i> проводить экспериментальные работы разного уровня сложности и обрабатывать полученные результаты.</p> <p><i>умеет</i> планировать экспериментальную часть проектных и исследовательских работ, анализировать и обобщать результаты эксперимента.</p>	<p>лекции, практическая работа, самостоятельная работа</p> <p>устный опрос, контрольная работа, коллоквиум</p>
	ПК-2	<p><i>выполняет</i> необходимые действия (классификация веществ, составление схем процессов, систематизация данных и т.п.) с учетом закономерностей, формулируемых в рамках базовых химических дисциплин.</p> <p><i>способен</i> использовать теоретические основы химии при планировании и организации работ по решению задач профессиональной сферы деятельности.</p> <p><i>использует</i> знания теоретических основ традиционных и новых разделов химии при решении задач профессиональной сферы деятельности.</p>	<p>лекции, практическая работа, самостоятельная работа</p> <p>устный опрос, контрольная работа, коллоквиум</p>
	ПК-3	<p><i>способен</i> планировать экспериментальную часть проектных и исследовательских работ, анализировать и обобщать результаты эксперимента.</p> <p><i>описывать</i> проводимых</p>	<p>лекции, лабораторная работа, самостоятельная работа</p>

		исследований, подготовка данных для составления отчетов о выполнении заданий. <i>аккумулировать</i> знания в профессиональной области и представлять их согласно заданным требованиям оформления.	устный опрос, контрольная работа, коллоквиум
	ПК-7	<i>знает</i> методы представления полученных в исследованиях результатов в виде отчетов и научных публикаций <i>умеет</i> представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчетов и научных публикаций <i>владеет</i> навыками представления полученных в исследованиях результатов в виде отчетов и научных публикаций	лекции, практические занятия, самостоятельная работа  устный опрос, контрольная работа, коллоквиум

### 3. Место дисциплины в структуре ОПОП

Курс строится на базе знаний по химическим и физическим дисциплинам, а также высшей математике, объём которых определяется программами химического образования в высшей школе.

Для освоения учебной дисциплины, обучающиеся должны владеть следующими знаниями и компетенциями: ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-7

### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
<b>Модуль 1</b>								
1.	Введение. Основные понятия		2	-	-	-	4	устный опрос
2.	Диссипативная функция многофазной		2	-	-	-	8	устный опрос



	гетерогенной среды							
3.	Термодинамика линейных необратимых систем		2	-	-	-	8	контрольная работа
4.	Термодинамика нелинейных необратимых систем		2	1	-	-	7	устный опрос, коллоквиум
	<i>Итого за модуль 1</i>		8	1			27	
<b>Модуль 2</b>								
5.	Элементы качественной теории дифференциальных уравнений		3	1	-	-	8	контрольная работа
6.	Элементы бифуркационного анализа		3	1	-	-	8	устный опрос, контрольная работа
7.	Элементы теории хаоса		2	1	-	-	9	коллоквиум
	<i>Итого за модуль 2</i>		8				25	
	<b>ИТОГО:</b>		<b>16</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>52</b>	<b>зачет</b>

#### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам, разделам и модулям.

##### Модуль I

##### 1. Введение.

Предмет синергетики. Понятие диссипативной структуры. Примеры возникновения пространственных, временных и пространственно-временных структур: реакция Белоусова – Жаботинского, переход ламинарного течения жидкости в турбулентное, эффект Бенара, изменение численности видов в биологическом сообществе "хищник-жертва" и др. Неравновесная термодинамика и нелинейная динамика – как разделы синергетики, позволяющие понять природу и направление эволюции неравновесных систем. Структура курса. Краткий исторический обзор.

##### 2. Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды.

Математическое описание процессов с фазовыми переходами и химическими реакциями, происходящими в полидисперсных гетерогенных средах: основные понятия и допущения, уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Вывод выражения для изменения энтропии открытой многофазной системы; анализ структуры данного выражения. Производство энтропии системы; анализ производства энтропии; производство энтропии для стационарного состояния системы; производство энтропии для изолированной системы. Понятие термодинамической движущей силы и термодинамического потока. Примеры сил и потоков. Тензорная размерность сил и потоков. Структура движущей силы массоотдачи; объяснение возникновения осцилляций при кристаллизации веществ с высокими тепловыми эффектами.

##### 3. Термодинамика линейных необратимых систем.

Соотношения взаимности Онзагера. Принцип Кюри. Принцип симметрии феноменологических коэффициентов. Эффект термодиффузии и диффузионный термоэффект. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии как критерий эволюции линейных систем. Доказательство теоремы Пригожина. Применение теоремы Пригожина для решения задач химической технологии: определение порозности слоя в кристаллизаторе со взвешенным слоем; определение диаметра включения, устойчивого к дроблению.

##### 4. Термодинамика нелинейных необратимых систем.

Метод функций Ляпунова. Вторая вариация энтропии системы как термодинамическая функция Ляпунова для систем вдали от равновесия. Производная второй вариации энтропии. Избыточное производство энтропии. Методика выявления причин потери устойчивости в системах. Устойчивость химических проточных реакторов. Методика вывода выражения для производной второй вариации энтропии; анализ данного выражения для реакций различного типа: прямой необратимой реакции, автокаталитической реакции, сложных реакционных схем. Влияние типа химической реакции на устойчивость системы. Методика определения размеров реактора и технологических параметров реакционного процесса для поддержания устойчивого теплового и концентрационного режима в реакторе. Анализ причин возникновения осцилляций в реакторах с рециклами. Исследование осцилляций при кристаллизации малорастворимых веществ.

## **Модуль II**

### **5. Элементы качественной теории дифференциальных уравнений.**

Понятие автономных систем, фазового пространства, фазового портрета, неподвижной точки. Устойчивость неподвижных точек. Классификация неподвижных точек на прямой. Классификация неподвижных точек на плоскости. Первый метод Ляпунова для определения типа неподвижной точки линейной системы. Понятие характеристического многочлена. Критерий асимптотической устойчивости линейных систем. Качественная эквивалентность систем. Проблемы исследования нелинейных систем. Теорема о линеаризации. Методика линеаризации нелинейных систем. Применение изученных методов для анализа реакционных схем.

Предельные циклы в нелинейных системах. Типы предельных циклов. Теорема Пуанкаре. Методика исследования систем с предельными циклами. Понятие структурной устойчивости колебаний. Колебания в моделях взаимодействия биологических видов по типу "хищник–жертва".

### **6. Элементы бифуркационного анализа.**

Понятие бифуркации, точки бифуркации. Бифуркация типа седло–узел; необходимый признак данного типа бифуркации. Бифуркация Андронова–Хопфа; необходимый признак данного типа бифуркации. Модель "Брюсселятор" как пример реакционной схемы, демонстрирующей бифуркацию Андронова–Хопфа: возникновение колебаний в режиме предельного цикла в реакторе идеального смешения; возникновение пространственных диссипативных структур в трубчатом реакторе. Квазипериодическая динамика систем в трёхмерном пространстве. Бифуркация рождения двумерного тора из предельного цикла в трёхмерном фазовом пространстве. Методы исследования физико-химических систем с понижением их размерности: параметры порядка и принцип подчинения; отображение Пуанкаре.

### **7. Элементы теории хаоса**

Понятие странного аттрактора. Сценарий образования странного аттрактора в системе Лоренца. Колебания в режиме странного аттрактора в реакторе с рециклом в процессе получения фосфорной кислоты мокрым способом. Порядок и хаос в одномерных отображениях. Бифуркация удвоения периода. Теория универсальности Фейгенбаума. Сценарий образования странного аттрактора в модели Рёсслера. Использование методики исследования одномерных отображений в кластерной теории, предсказывающей порядок и детерминированный хаос при кристаллизации малорастворимых веществ. Алгоритм пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями. Показатели Ляпунова. Связь показателей Ляпунова с типами аттракторов.

## **5. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации обучающегося**

### **Вопросы по текущему контролю**

#### **Модуль I**

1. Понятие диссипативной структуры. Примеры возникновения пространственных, временных и пространственно-временных структур: реакция Белоусова – Жаботинского, переход ламинарного течения жидкости в турбулентное, эффект Бенара, изменение численности видов в биологическом сообществе "хищник-жертва" и др.
2. Математическое описание процессов с фазовыми переходами и химическими реакциями, происходящими в полидисперсных гетерогенных средах: основные понятия и допущения, уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Вывод выражения для изменения энтропии открытой многофазной системы; анализ структуры данного выражения.
3. Термодинамика линейных необратимых систем. Соотношения взаимности Онзагера. Принцип Кюри. Принцип симметрии феноменологических коэффициентов. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии как критерий эволюции линейных систем.
4. Термодинамика нелинейных необратимых систем. Вторая вариация энтропии системы как термодинамическая функция Ляпунова для систем вдали от равновесия. Производная второй вариации энтропии. Избыточное производство энтропии. Влияние типа химической реакции на устойчивость системы.

### **Модуль II**

5. Понятие автономных систем, фазового пространства, фазового портрета, неподвижной точки. Устойчивость неподвижных точек. Проблемы исследования нелинейных систем. Теорема о линеаризации. Методика линеаризации нелинейных систем. Предельные циклы в нелинейных системах. Типы предельных циклов.
6. Понятие бифуркации, точки бифуркации. Бифуркация типа седло–узел; необходимый признак данного типа бифуркации. Бифуркация Андронова–Хопфа; необходимый признак данного типа бифуркации. Бифуркация рождения двумерного тора из предельного цикла в трёхмерном фазовом пространстве.
7. Понятие странного аттрактора. Алгоритм пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями. Показатели Ляпунова. Связь показателей Ляпунова с типами аттракторов.

*Примерный перечень вопросов к зачету по всему курсу и к каждому промежуточному контролю для самопроверки обучающихся.*

### **Вопросы по итоговому контролю**

#### **Коллоквиум 1**

1. Предмет синергетики. Понятие диссипативной структуры. Примеры возникновения пространственных, временных и пространственно-временных структур: реакция Белоусова – Жаботинского, переход ламинарного течения жидкости в турбулентное, эффект Бенара, изменение численности видов в биологическом сообществе "хищник-жертва" и др.
2. Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды. Математическое описание процессов с фазовыми переходами и химическими реакциями, происходящими в полидисперсных гетерогенных средах: основные понятия и допущения, уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Вывод выражения для изменения энтропии открытой многофазной системы; анализ структуры данного выражения.

#### **Коллоквиум 2**

1. Термодинамика линейных необратимых систем. Соотношения взаимности Онзагера. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии как критерий эволюции линейных систем.
2. Термодинамика нелинейных необратимых систем. Метод функций Ляпунова. Вторая вариация энтропии системы как термодинамическая функция Ляпунова для систем вдали от равновесия. Производная второй вариации энтропии. Избыточное производство энтропии. Влияние типа химической реакции на устойчивость системы.

### **Коллоквиум 3**

1. Элементы качественной теории дифференциальных уравнений. Понятие автономных систем, фазового пространства, фазового портрета, неподвижной точки. Устойчивость неподвижных точек. Проблемы исследования нелинейных систем. Теорема о линеаризации. Методика линеаризации нелинейных систем. Предельные циклы в нелинейных системах. Типы предельных циклов.

### **Коллоквиум 4**

1. Элементы бифуркационного анализа. Понятие бифуркации, точки бифуркации. Бифуркация типа седло–узел; необходимый признак данного типа бифуркации. Бифуркация Андронова–Хопфа; необходимый признак данного типа бифуркации. Бифуркация рождения двумерного тора из предельного цикла в трёхмерном фазовом пространстве.

2. Элементы теории хаоса. Понятие странного аттрактора. Алгоритм пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями. Показатели Ляпунова. Связь показателей Ляпунова с типами аттракторов.

### ***Примерные вопросы к зачету***

1. Предмет синергетики. Понятие диссипативной структуры.
2. Примеры возникновения пространственных, временных и пространственно-временных структур: реакция Белоусова – Жаботинского, переход ламинарного течения жидкости в турбулентное, эффект Бенара, изменение численности видов в биологическом сообществе "хищник-жертва" и др.
3. Неравновесная термодинамика и нелинейная динамика – как разделы синергетики, позволяющие понять природу и направление эволюции неравновесных систем.
4. Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды. Вывод и анализ структуры выражения для изменения энтропии открытой многофазной системы.
5. Производство энтропии системы, анализ производства энтропии, производство энтропии для стационарного состояния системы, производство энтропии для изолированной системы.
6. Понятие термодинамической движущей силы и термодинамического потока. Примеры сил и потоков.
7. Термодинамика линейных необратимых систем. Соотношения взаимности Онзагера. Принцип Кюри. Принцип симметрии феноменологических коэффициентов.
8. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии как критерий эволюции линейных систем. Доказательство теоремы Пригожина. Применение теоремы Пригожина.
9. Термодинамика нелинейных необратимых систем. Метод функций Ляпунова. Вторая вариация энтропии системы как термодинамическая функция Ляпунова для систем вдали от равновесия.
10. Производная второй вариации энтропии. Избыточное производство энтропии.
11. Методика вывода выражения для производной второй вариации энтропии; анализ данного выражения для реакций различного типа: прямой необратимой реакции, автокаталитической реакции, сложных реакционных схем. Влияние типа химической реакции на устойчивость системы.
12. Элементы качественной теории дифференциальных уравнений. Понятие автономных систем, фазового пространства, фазового портрета, неподвижной точки.
13. Устойчивость неподвижных точек. Классификация неподвижных точек на прямой. Классификация неподвижных точек на плоскости.
14. Первый метод Ляпунова для определения типа неподвижной точки линейной системы. Понятие характеристического многочлена.
15. Критерий асимптотической устойчивости линейных систем. Качественная эквивалентность систем.

16. Проблемы исследования нелинейных систем. Теорема о линеаризации. Методика линеаризации нелинейных систем. Применение изученных методов для анализа реакционных схем.
17. Предельные циклы в нелинейных системах. Типы предельных циклов. Теорема Пуанкаре. Методика исследования систем с предельными циклами.
18. Понятие структурной устойчивости колебаний. Колебания в моделях взаимодействия биологических видов по типу “хищник–жертва”.
19. Элементы бифуркационного анализа. Понятие бифуркации, точки бифуркации. Бифуркация типа седло–узел; необходимый признак данного типа бифуркации.
20. Бифуркация Андронова–Хопфа; необходимый признак данного типа бифуркации.
21. Модель "Брюсселятор" как пример реакционной схемы, демонстрирующей бифуркацию Андронова–Хопфа: возникновение колебаний в режиме предельного цикла в реакторе идеального смешения; возникновение пространственных диссипативных структур в трубчатом реакторе.
22. Квазипериодическая динамика систем в трёхмерном пространстве. Бифуркация рождения двумерного тора из предельного цикла в трёхмерном фазовом пространстве. Методы исследования физико-химических систем с понижением их размерности: параметры порядка и принцип подчинения; отображение Пуанкаре.
23. Элементы теории хаоса. Понятие странного аттрактора. Сценарий образования странного аттрактора в системе Лоренца.
24. Порядок и хаос в одномерных отображениях. Бифуркация удвоения периода. Теория универсальности Фейгенбаума. Сценарий образования странного аттрактора в модели Рёсслера.
25. Алгоритм пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями. Показатели Ляпунова. Связь показателей Ляпунова с типами аттракторов.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Основная литература.**

1. Кольцова Э.М., Гордеев Л.С. Методы синергетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1999. 256 с.
2. Кольцова Э.М., Третьяков Ю.Д., Гордеев Л.С., Вертегел А.А. Нелинейная динамика и термодинамика необратимых процессов. М.: Химия, 2001. 408 с.
3. Агеев, Е.П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах: в вопросах и ответах: учебное пособие / Е.П. Агеев. - Изд. 2-е, исправ. и доп. - Москва : МЦНМО, 2005. - 160 с. - ISBN 5-94057-191-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=63243>
4. Эбелинг В. Хаос и космос. Синергетика эволюции [Электронный ресурс] / В. Эбелинг, Р. Файстель. – Электрон. текстовые данные. – Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика Ижевский институт компьютерных исследований, 2005. – 336 с. – 5-93972-454-X. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16658.html>

### **6.2. Дополнительная литература.**

1. Гленсдорф П., Пригожин И.Р. Термодинамическая теория структуры устойчивости и флуктуации. М.: Мир, 1973. 432 с.
2. Основы химической термодинамики: к курсу физической химии: учебное пособие / Г.В. Булидорова, Ю.Г. Галяметдинов, Х.М. Ярошевская, В.П. Барабанов; - Казань : КГТУ, 2011. - 218 с. - ISBN 978-5-7882-1151-0; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258361>
3. Шапиро, С.В. Основы синергетики: учебное пособие / С.В. Шапиро; - Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2012. - 228 с. ISBN 978-5-88469-573-3 То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=272504>
4. Эрроусмит Д., Плейс К. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Качественная теория с приложениями. М.: Мир, 1986. 243 с.

5. Холодниок М., Клич А., Кубичек М., Марек М. Методы анализа нелинейных динамических моделей. М.: Мир, 1991. 365 с.

### 6.3. Программное обеспечение

1. [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru);
2. [www.confitor.ru](http://www.confitor.ru);
3. [www.nanotech.ru](http://www.nanotech.ru);
4. [pubs.acs.org](http://pubs.acs.org);
5. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com);
6. [www.springer.com](http://www.springer.com).

*Для успешного освоения дисциплины, обучающийся использует следующие программные средства:*

- Системные программные средства: Microsoft Windows XP, Microsoft Vista.
  - Прикладные программные средства: Microsoft Office 2007 Pro, FireFox
- Специализированное программное обеспечение: СДО Moodle, SunRAV BookOffice Pro, SunRAV TestOfficePro, Navigator. html, Adobe Reader 9, Lizardech DjVu Control, Abbyy Finreders 8, Statistica 7, специализированные химические программы и др.

### 6.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 1999. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 22.05.2018). – Яз. рус., англ.

2. Электронный каталог НБ ДГУ [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит, поступающих в фонд НБ ДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>, свободный (дата обращения: 22.05.2019).

3. ЭБС ibooks.ru [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – Режим доступа: <https://ibooks.ru/> (дата обращения: 22.05.2019).

4. ЭБС book.ru [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – Режим доступа: [www.book.ru/](http://www.book.ru/) (дата обращения: 22.05.2019).

**6.5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:** Moodle [Электронный ресурс]: система виртуального обучения: [база данных] / Даг. гос. ун-т. – Махачкала, г. – Доступ из сети ДГУ или, после регистрации из сети ун-та, из любой точки, имеющей доступ в интернет. – URL: <http://moodle.dgu.ru/> (дата обращения: 22.05.2019).

### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

В соответствии с требованиями ФГОС ВО кафедра имеет специально оборудованную учебные аудитории для проведения **лекционных и практических занятий**, помещения для **лабораторных работ** на группу из 12 человек и **вспомогательное помещение** для хранения химических реактивов и профилактического обслуживания учебного и учебно-научного оборудования.

Помещения для лекционных и практических занятий укомплектованы комплектами электропитания ЩЭ (220 В, 2 кВт, в комплекте с УЗО), специализированной мебелью и оргсредствами (доска аудиторная для написания мелом и фломастером, стойка-кафедра, стол лектора, стул-кресло, столы аудиторные двухместные, стул аудиторный, а также техническими средствами обучения (экран настенный с электроприводом и дистанционным управлением, мультимедиа проектор с ноутбуком).

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных лабораториях с применением необходимых средств обучения (лабораторного оборудования, образцов, нормативных и технических документов и т.п.). Помещения лабораторных практикумов

укомплектованы специальной учебно-лабораторной мебелью (в том числе столами с химически стойкими покрытиями), учебно-научным лабораторным оборудованием, измерительными приборами и химической посудой, в полной мере обеспечивающими выполнение требований программы по неорганической химии. Материально-технические средства для проведения лабораторного практикума по дисциплине неорганическая химия включает в себя: специальное оборудование (комплект электропитания ЩЭ, водоснабжение), лабораторное оборудование (лабораторные весы типа ВЛЭ 250 и ВЛЭ 1100, кондуктометр, термометры, рН-метры, печи трубчатая и муфельная, сушильный шкаф, устройство для сушки посуды, дистиллятор, очки защитные, колбонагреватели, штативы лабораторные, штативы для пробирок), Лабораторная посуда (Стаканы (100, 250 и 500 мл), колбы конические (100 мл), колбы круглодонные (250 мл) колбы плоскодонные (100, 250 и 500 мл), колбы Вюрца (250 и 100 мл), цилиндры мерные (100, 25 и 50 мл), воронки капельные, химические, воронки для хлора, воронки Мюнке, промывалки, U-образные трубки, реакционные трубки, фарфоровые чашки, тигли фарфоровые, холодильники прямой, обратный, воронки лабораторные, дефлегматоры), специальная мебель и оргсредства (доска аудиторная для написания мелом и фломастером, мультимедиа проектор (переносной) с ноутбуком, экран, стол преподавателя, стул-кресло преподавателя, столы лабораторные прямоугольного профиля с твердым химическим и термически стойким покрытием, табуреты, вытяжные шкафы лабораторные, мойка).

При проведении занятий используется учебное и лабораторное оборудование: Атомно-абсорбционный спектрометр, Contr AA-700, AnalytikJena, Германия; Спектрофотометр UV-3600 с интегрирующей сферой LISR-3100, UV-3600, Япония; Многоцелевой экспериментальный масс-спектрометрический комплекс ЭМК, Россия; Рентген-флуоресцентный спектрометр EDX-800 HS, Япония; ИК-Фурье спектрометр ИнфраЛЮМ ФТ-02, Россия; Спектрофлуориметр F-700, Япония; Спектрофотометр, SPECORD 210 PlusBU, AnalytikJena, Германия; Спектрометрический комплекс МДР-41 в комплекте с азотным проточным криостатом OptCryo198, Россия; Микроволновая система минерализации проб под давлением, TOPwaveIV, AnalytikJena, Германия; Система капиллярного электрофореза, Капель-105М, ЛЮМЕКС, Санкт-Петербург; Рентгеновский дифрактометр, EmpyreanSeries 2 Фирма Panalytical (Голландия); Дифференциальный сканирующий калориметр, NETZSCH STA 409 PC/PG, Германия; Лабораторная экстракционная система, SFE1000M1-2-FMC-50, Waters, США; Хромато-масс-спектрометр, 7820 Маэстро, США, Россия; Высокоэффективный жидкостной хроматограф, Agilent 1220 Infinity, США.

## **8. Образовательные технологии**

В ходе освоения дисциплины предусматривается применение следующих активных методов обучения:

- выполнение практических работ с элементами исследования;
- отчетные занятия по разделам «Введение. Предмет синергетики». «Примеры возникновения пространственных, временных и пространственно-временных структур», «Неравновесная термодинамика и нелинейная динамика», «Элементы качественной теории дифференциальных уравнений», «Элементы бифуркационного анализа», «Элементы теории хаоса»;
- выполнение аспирантами индивидуальной исследовательской работы по анализу реальных объектов с поиском и выбором метода и схемы определения на практических занятиях;
- контрольные работы;
- коллоквиумы;