

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

« 22 » февраля 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Физико-химическая гидродинамика  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** 108 (3)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 01.04.02 Прикладная математика и информатика  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Хемобиодинамика и биоинформатика  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Одной из важных научных проблем последнего времени является взаимное влияние друг на друга течений жидкости и химических реакций, протекающих в тоще жидкости или на межфазных границах. Эта проблема является междисциплинарной между механикой жидкости и химией и является предметом изучения физико-химической гидродинамики. Методы и подходы, разработанные в рамках данного направления, широко используются в специальных разделах механики жидкости и химических технологиях получения сложных веществ. Таким образом, выделение физико-химической гидродинамики в отдельный курс дает возможность обучающимся взглянуть с единой точки зрения на процессы, протекающие в потоках реагирующих растворов.

Целью учебной дисциплины является формирование основополагающих представлений о физико-химической гидродинамике; величинах, характеризующих течения жидких растворов, в которых протекают реакции различного типа; законах, которым эти величины подчиняются. Это включает в себя получение необходимого объема теоретических знаний о типичных неустойчивостях, возникающих в таких системах, условиях их возникновения, а также способах внешнего управления этими процессами; приобретение практических навыков решения задач физико-химической механики жидкости; знакомство с современными технологиями получения фармацевтических компонент в проточных микрореакторах. Содержание курса направлено также на формирование у студентов современного естественнонаучного мировоззрения, развитие научного мышления и расширение научно-технического кругозора.

Задачи учебной дисциплины:

В результате изучения дисциплины обучающийся должен (проектируемые результаты освоения дисциплины):

- знать основные термины, классификации и законы физико-химической гидродинамики, влияние химических реакций на устойчивость жидкости, технологии управления реакциями в потоке;
- изучить методы и подходы физико-химической механики жидкости для объяснения явлений и процессов, происходящих в реагирующих растворах жидкостей и на межфазных границах вокруг них;
- овладеть практическими навыками использования математического аппарата физико-химической гидродинамики при решении задач, а также для количественного определения физико-химических параметров.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются: законы и уравнения физико-химической гидродинамики; условия возникновения и развития неустойчивостей жидких растворов при протекающих экзо- и эндотермических реакциях различных порядков; влияние поверхностно-активных веществ на течения жидкости, формирующихся вблизи межфазных поверхностей; использование законов физико-химической механики жидкости для управления процессами, протекающими в микрореакторах проточного типа.

### 1.3. Входные требования

Для освоения дисциплины «Физико-химическая гидродинамика» обучающиеся используют знания, умения и навыки, сформированные при изучении дисциплин следующих блоков учебной программы:

#### 1. Введение в механику жидкости

Кроме того, дисциплина существенно опирается на такие дисциплины и разделы математики, как алгебра, анализ, тензорное исчисление, уравнения математической физики и др. При изучении данного курса используются различные разделы физики сплошных сред, теоретическая механика.

### 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
ПК-1.5	ИД-1ПК-1.5	Знает концептуальные и теоретические основы физико-химической гидродинамики, основные величины, характеризующие процессы в потоках реагирующих растворов; основные законы поведения поверхностно-активных веществ в растворах с межфазной поверхностью.	Знает классические результаты и последние достижения в механике жидкости, физико-химической гидродинамике, геномике и биоинформатике;	Экзамен
ПК-1.5	ИД-2ПК-1.5	Умеет использовать методы и подходы физико-химической гидродинамики для объяснения наблюдаемых в эксперименте явлений, возникающих в реагирующих жидких средах.	Умеет обосновывать выбор и творчески применять современные методы математического моделирования объектов и процессов на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики;	Экзамен
ПК-1.5	ИД-3ПК-1.5	Владеет методами математического анализа, используемых физико-химической гидродинамики, при решении практических задач и проведения количественных оценок протекающих физико-химических процессов	Владеет навыками разработки и анализа новых математических моделей сложных систем и процессов для междисциплинарных задач, сформулированных на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики.	Экзамен

### 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:	36	36	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	18	18	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	36	36	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

### 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				
Уравнения реакции-диффузии-конвекции	2	0	2	4
Общие уравнения гидродинамики, используемые в физико-химической механике жидкости. Реакции первого и второго порядка. Экзотермические и эндотермические реакции. Сложные законы диффузии растворов. Взаимное влияние гидродинамических течений и протекающих химических реакций. Положительная и отрицательная обратная связь между явлениями. Обзор методов исследования хемогидродинамических явлений.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Динамика смешивающиеся реагирующих растворов	4	0	4	8
Классификация основных хемоконвективных неустойчивостей в случае смешивающихся растворов реагентов. Неустойчивость Рэлея-Бенара, Рэлея-Тейлора, двойной диффузии. Явление концентрационной зависимости процессов диффузии реагентов в растворах. Локальная хемоконвекция в карманах плотности в поле тяжести. Ударные волны плотности в поле тяжести. Технологии проектирования микрореакторов проточного типа и использования их для производства фармацевтических компонент.				
Динамика несмешивающихся реагирующих растворов	4	0	4	8
Классификация основных хемоконвективных неустойчивостей в случае несмешивающихся растворов реагентов. Влияние межфазной поверхности на динамику системы. Особенности формирования неустойчивости в несмешивающихся системах.				
Динамика ПАВ вблизи межфазных поверхностей	2	0	4	8
Механизм адсорбции и десорбции. Силы Ван-дер-Ваальса. Классификация кинетических свойств различных поверхностно-активных веществ. Точка мицеллообразования. Диффузионная кинетика. Барьерная кинетика. Уравнение Ленгмюра. Изотермы Гиббса, Генри, Ленгмюра, Френкеля, Ван-дер-Ваальса.				
Влияние ПАВ на течения жидкости	4	0	4	8
Термокапиллярный и солито-капиллярный механизмы развития неустойчивости жидкости. Взаимодействие капиллярных видов неустойчивости и гравитационных конвективных неустойчивостей жидкости.				
ИТОГО по 2-му семестру	16	0	18	36
ИТОГО по дисциплине	16	0	18	36

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Процедура усреднения уравнений реакции-диффузии-конвекции
2	Точное решение для хемоконвективного течения жидкости
3	Решение задачи устойчивости плоского слоя реагирующей жидкости

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
4	Решение задачи устойчивости двухслойной системы реагирующих жидкостей для реакции первого порядка, часть 1.
5	Решение задачи устойчивости двухслойной системы реагирующих жидкостей для реакции первого порядка, часть 2
6	Точные решение уравнения Ленгмюра, часть 1
7	Точные решение уравнения Ленгмюра, часть 2
8	Точное решение для задачи Пирсона, часть 1
9	Точное решение для задачи Пирсона, часть 2

## 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. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и творческих методов для решения проблем; отработка у обучающихся навыков взаимодействия в составе коллектива; закрепление основ теоретических знаний.

### 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 практическим занятиям, 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	Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов / А. Г. Касаткин. - Москва: Альянс, 2014.	49
2	Колесниченко И. В. Введение в механику несжимаемой жидкости : учебное пособие / И. В. Колесниченко, А. Н. Шарифулин. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2019.	5
3	Ролдугин В. И. Физикохимия поверхности : учебник-монография / В. И. Ролдугин. - Долгопрудный: Интеллект, 2011.	4
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Гершуни Г. З. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости / Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкий. - Москва: Наука, 1972.	2
2	Полак Л. С. Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах / Л. С. Полак, А. С. Михайлов. - Москва: Наука, 1983.	2
3	Синайский Э.Г. Гидродинамика физико-химических процессов / Э.Г.Синайский. - М.: Недра, 1997.	1
4	Стромберг А. Г. Физическая химия : учебник для вузов / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. - Москва: Высш. шк., 2006.	84
5	Ягодовский В. Д. Адсорбция : учебное пособие / В. Д. Ягодовский. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2015.	3
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вычислительная механика сплошных сред : журнал / Российская академия наук, Уральское отделение; Институт механики сплошных сред. - Пермь: ИМСС УрО РАН, 2008 - .	
2	Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа : научный журнал / Российская академия наук. - Москва: Наука, 1966 - .	
<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	Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973	<a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm</a>	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика (2-е издание). М.: Физматлит, 1959	<a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm</a>	сеть Интернет; свободный 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 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>

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

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Лекционная аудитория, оборудованная электронным проектором и экраном	1
Практическое занятие	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	4

### **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**  
(приложение к рабочей программе дисциплины)

**Дисциплина:** Физико-химическая гидродинамика

**Форма обучения:** очная

**Уровень высшего образования:** магистратура

**Общая трудоёмкость:** 108 ч (3 ЗЕ)

**Направление подготовки:** 01.04.02 Прикладная математика и информатика

**Профиль программы:** Хемобиодинамика и биоинформатика

**Выпускающая кафедра:** Прикладной физики

**Курс:** 1 **Семестр:** 2

**Виды контроля с указанием семестра:** Экзамен, 2

**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 формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения**

### **1.1. Формируемые части компетенций**

Согласно КМВ ОПОП учебная дисциплина Б1.В.08 «Физико-химическая гидродинамика» участвует в формировании компетенции **ПК-1.5**:

- способность ставить и решать междисциплинарные задачи математического моделирования объектов и процессов на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики.

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

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (3-го семестра учебного плана) и разбито на 5 учебных модулей. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные занятия, которые сопровождаются практическими занятиями, а также самостоятельной работой студентов. В конце обучения проводится экзамен. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по практическим занятиям и индивидуальным работам. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный			Промежуточный
	С	ПЗ	КР	ИЗ	ОПЗ	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>З.1</b> - знает концептуальные и теоретические основы физико-химической гидродинамики;	С					ТВ
<b>З.2</b> - знает основные величины, характеризующие процессы в потоках реагирующих растворов;	С					ТВ
<b>З.3</b> - знает основные законы поведения поверхностно-активных веществ в растворах с межфазной поверхностью.	С					ТВ
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1</b> - умеет использовать критерии подобия для оценки интенсивности наблюдаемых эффектов физико-химической гидромеханики;		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
<b>У.2</b> - умеет классифицировать неустойчивости жидкости, возникающие на стыке гидродинамических явлений и химических реакций;		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
<b>У.3</b> - умеет применять методы и подходы физико-химической гидродинамики для объяснения наблюдаемых в эксперименте явлений, возникающих в реагирующих жидких средах.		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
<b>Приобретенные владения</b>						
<b>В.1</b> - владеет методами математического анализа, используемых в физико-химической гидродинамике;		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
<b>В.2</b> - владеет навыками проведения количественных оценок протекающих физико-химических процессов;		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
<b>В.3</b> - владеет навыками решения простейших задач теории гидродинамической устойчивости.		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОПЗ – отчет по практическому заданию; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое занятие; ИЗ – индивидуальное задание; КЗ – комплексное задание экзамена.*

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 бланочного 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 или 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, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты отчетов по практическим заданиям (после изучения каждого модуля учебной дисциплины). Типовые темы практических занятий приведены в РПД. Защита отчета проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы.

### **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех от-

четов по практическим занятиям 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 и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня усвоенных умений и 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.

### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний (ТВ):**

1. Методы теоретического и экспериментального исследований химико-гидродинамических процессов.
2. Структура системы уравнений реакции-диффузии-конвекции. Основные переменные и критерии подобия.
3. Общая классификация гидродинамических неустойчивостей. Опыт Рейнольдса. Число Рейнольдса. Ламинарные и вихревые течения. Понятие турбулентности. Приложения теории Рейнольдса.
4. Пространственный диапазон для гидродинамических неустойчивостей. Минимальный и максимальный размер гидродинамической структуры. Примеры.
5. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Механизм и условия возникновения. Примеры неустойчивости в различных природных и лабораторных системах.
6. Неустойчивость Рэлея-Тейлора. Механизм и условия возникновения. Роль гравитации. Примеры неустойчивости в различных природных и лабораторных системах.
7. Неустойчивость Рэлея-Бенара. Механизм и условия возникновения. Роль гравитации и интенсивности нагрева. Примеры неустойчивости в различных природных и лабораторных системах.
8. Эксперимент Бенара и теория Рэлея. Число Рэлея. Задача об устойчивости плоского слоя со свободными границами. Структура течения: критическое значения числа Рэлея и волнового числа.
9. Задача Лотки-Вольтерры. Понятие об ингибиторе и активаторе. Связь с автокаталитическими процессами в химии.
10. Неустойчивость Белоусова-Жаботинского. Реакция БЖ. Эксперимент Белоусова и модель Жаботинского. Другие модели «химических часов». Механизм часов. Структурообразование в случае пространственной реакции БЖ.
11. Неустойчивость Тьюринга. Механизм и условия возникновения. Роль диффузии реагентов. Примеры неустойчивости в различных природных и лабораторных системах. Экспериментальное подтверждение.

12. Математическая формулировка задачи для неустойчивости Тьюринга. Решение задачи Тьюринга. Демонстрация работы онлайн версии «стены Тьюринга».
13. Пространственный диапазон для химических неустойчивостей. Минимальный и максимальный размер структуры реакции-диффузии. Примеры.
14. Неустойчивость двойной диффузии и особенности её проявления в задачах хемоконвекции. Механизм неустойчивости и классификация типов неустойчивости.
15. Хемогидродинамическая неустойчивость концентрационно-зависимой диффузии. Механизм и условия срабатывания, примеры и особенности структурообразования. Роль гравитации и реакции нейтрализации.
16. Общая характеристика явлений физической химии поверхностных явлений: круг задач, наблюдаемые явления, примеры приложений.
17. Термокапиллярная неустойчивость Марангони в задачах хемоконвекции. Механизм неустойчивости. Тепловое число Марангони. Примеры. Оценка для опыта Бенара.
18. Солитокапиллярная неустойчивость Марангони в задачах хемоконвекции. Механизм неустойчивости. Концентрационное число Марангони. Примеры.
19. Математическая формулировка задачи для неустойчивости Марангони в невесомости. Решение задачи Пирсона. Критическое значение числа Марангони и волнового числа.
20. Проектирование микрореакторов проточного типа с эффектом Марангони.

Пример типового комплексного задания для проверки умений и владений представлен в приложении 1. *Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

### **2.3.2. 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.

**Типовое комплексное задание экзамена для проверки умений и владений**

**Задание № 1.** Оцените критические числа Рэля и Марангони в эксперименте Бенара и сделайте вывод о механизме наблюдавшейся неустойчивости.

**Критерии оценки выполнения комплексного задания экзамена**

**Оценка «пять» ставится,** если обучающийся справился с заданием и дал правильный ответ; он осознанно излагает и оценивает полученные им результаты; демонстрирует умение аргументировать свою точку зрения в ответ на уточняющие вопросы преподавателя.

**Оценка «четыре» ставится,** если обучающийся дал правильный ответ, но с заданием справился частично; понимает и правильно интерпретирует полученные им результаты, логично строит свой ответ, но допускает незначительные неточности при описании методов решения или свойств исследуемой системы.

**Оценка «три» ставится,** если обучающийся дал правильный ответ, но путается с выкладками при получении оценок; ориентируется в методах и подходах решения и при описании полученных результатов, но нуждается в наводящих вопросах преподавателя, не умеет анализировать или не вполне владеет терминологией при описании исследуемой системы.

**Оценка «два» ставится,** если обучающийся дал неправильный ответ и не справился с необходимыми выкладками; плохо ориентируется и не понимает сути необходимого исследования, либо допускает грубые ошибки при описании своих действий при выполнении заданий.