

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
1. Основная литература		

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
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
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
2.2. Периодические издания		
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 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	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	http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика (2-е издание). М.: Физматлит, 1959	http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm	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	https://www.scopus.com/
База данных Springer Nature e-books	http://link.springer.com/ http://jwww.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://zbmath.org/ http://npg.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

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
Усвоенные знания						
З.1 - знает концептуальные и теоретические основы физико-химической гидродинамики;	С					ТВ
З.2 - знает основные величины, характеризующие процессы в потоках реагирующих растворов;	С					ТВ
З.3 - знает основные законы поведения поверхностно-активных веществ в растворах с межфазной поверхностью.	С					ТВ
Освоенные умения						
У.1 - умеет использовать критерии подобия для оценки интенсивности наблюдаемых эффектов физико-химической гидромеханики;		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
У.2 - умеет классифицировать неустойчивости жидкости, возникающие на стыке гидродинамических явлений и химических реакций;		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
У.3 - 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
Приобретенные владения						
В.1 - владеет методами математического анализа, используемых в физико-химической гидродинамике;		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
В.2 - владеет навыками проведения количественных оценок протекающих физико-химических процессов;		ПЗ по темам 1-9			ОПЗ	КЗ
В.3 - 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. Солютокапиллярная 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.