

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

« 07 » марта 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Основы микрофлюидики
(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

Задачами освоения дисциплины являются: изучение студентами методов исследования теоретического исследования процессов тепло-массопереноса в МФС (микрофлюидных системах), описания гидродинамических процессов в МФС, методов их лабораторного исследования, а также приложения теории МФС к исследованию процессов в хемо-биологических системах.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- феноменологические уравнения микрофлюидики;
- движение пленок и капель под воздействием внешних сил.
- краевые условия задач микрофлюидики;
- конструкция микрофлюидных чипов;
- способы управления движением жидкости в малых масштабах;
- асимптотические методы в микрофлюидике;
- численные методы в микрофлюидике;
- разделение белков в МФС;

1.3. Входные требования

Кроме того, дисциплина 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	Ориентируется в классических результатах механики жидкости и биоинформатики;	Знает классические результаты и последние достижения в механике жидкости, физико-химической гидродинамике, геномике и биоинформатике;	Зачет
ПК-1.5	ИД-2ПК-1.5	Уметь выбрать и применять методы математического моделирования объектов и процессов;	Умеет обосновывать выбор и творчески применять современные методы математического моделирования объектов и процессов на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики;	Зачет

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-3ПК-1.5	ориентируется в приемах разработки и анализа новых математических моделей задач, сформулированных на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики	Владеет навыками разработки и анализа новых математических моделей сложных систем и процессов для междисциплинарных задач, сформулированных на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики.	Контрольная работа
ПК-1.6	ИД-1ПК-1.6	Ориентируется в принципах планирования и методике проведения экспериментальных исследований в области м	Знает принципы планирования и методики проведения экспериментальных исследований в области как классической механики жидкости, так и её специальных современных разделов, включающих микрофлюидику и физико-химическую гидродинамику, нацеленных на решение научно- исследовательских и прикладных междисциплинарных задач; основные методы получения и обработки экспериментальных данных при проведении гидродинамических экспериментов в области как классической механики жидкости, так и её специальных разделов; основные критерии подобия и диапазоны их значений, используемых как в базовых, так и специальных разделах механики жидкости;	Доклад
ПК-1.6	ИД-2ПК-1.6	производит оценивание значений критериев подобия, используемых как в базовых так и специальных разделах механики жидкости; рассчитывать погрешности прямых и косвенных измерений	Умеет производить оценивание значений критериев подобия, используемых как в базовых так и специальных разделах механики жидкости; рассчитывать погрешности прямых и	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		значений физических полей; применять методы компьютерной обработки результатов экспериментов; анализировать полученные данные, сопоставляя их с данными других экспериментов и новыми теоретическими результатами, полученными в базовых и специальных разделах механики жидкости, нацеленных на решение научно-исследовательских и прикладных междисциплинарных задач;	косвенных измерений значений физических полей; применять методы компьютерной обработки результатов экспериментов; анализировать полученные данные, сопоставляя их с данными других экспериментов и новыми теоретическими результатами, полученными в базовых и специальных разделах механики жидкости, нацеленных на решение научно-исследовательских и прикладных междисциплинарных задач;	
ПК-1.6	ИД-3ПК-1.6	Умеет использовать научную аппаратуру для получения данных в ходе проведения экспериментов по базовым и специальным разделам механики жидкости	Владеет навыками использования как стандартной, так и специальной научной аппаратуры для получения с её помощью данных в ходе проведения экспериментов по базовым и специальным разделам механики жидкости, нацеленных на решение научно-исследовательских и прикладных междисциплинарных задач.	Защита лабораторной работы

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	36	36	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	8	8	
- лабораторные работы (ЛР)	26	26	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
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
3-й семестр				
Уравнения микрофлюидики	2	6	0	18
1. Общие уравнения гидродинамики, - уравнение неразрывности, переноса импульса, переноса энергии. Граничные условия на микромасштабах, микрослоях, микротрубках. Особенности экзотермических и эндотермических реакций в микромасштабах. 2. Взаимное влияние гидродинамических течений и протекающих химических реакций. Обзор лабораторных методов исследования микрогидродинамических явлений.				
Динамика микрокапель и тонких струй	2	6	0	18
3. Методы генерации и исследования течений в микроканалах. Особенности моделирования микрокапельных процессом. 4. Гидродинамические условия непротекания, прилипания и проскальзывания на стенке микроканалов. Условия на поверхности раздела фаз: кинематическое и динамические условия.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Теоретическое и лабораторное, с помощью цифрового микроскопа, исследование механизмов микро смешения	2	6	0	18
5. Классификация основных механизмов неустойчивостей в случае несмешивающихся жидкостей в микроканалах. Влияние межфазной поверхности на динамику микрофлюидной системы. 6. Особенности формирования неустойчивости в зависимости от реологических свойств наножидкости. Методы лабораторного наблюдения и исследования.				
Межфазные границы в электрическом и вибрационном полях	2	8	0	18
7. Капли и струи в электрическом и вибрационном полях. Конусы Тэйлора. 8. Инжектирование микро- и наноструй. 9. Движение пленок жидкости под действием внешних сил: ультразвука, вибраций, эффекты Марангони и электрических полей.				
ИТОГО по 3-му семестру	8	26	0	72
ИТОГО по дисциплине	8	26	0	72

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Визуальное наблюдение и описание микрофлюидных процессов в макро устройстве «Конвективная петля»
2	Исследование Кай-эффекта.
3	Исследование микро смешения с помощью Y- Junction чипа
4	Исследование продуктов микро смешения с помощью цифрового микроскопа
5	Исследование процесса генерации капель в микроканале с помощью 2R- Droplet чипа
6	Исследование распределения капель в микроканале с помощью цифрового микроскопа.

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Лабораторное исследование смешения биологических жидкостей в микрофлюидике
2	Моделирования смешения биологических жидкостей в микрофлюидике.
3	Лабораторное исследование условий на границах микроканала для различных видов реологии исследуемой жидкости.

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
4	Модели граничных условий на границах микроканала для различных видов реологии исследуемой жидкости.
5	Лабораторное исследование образования капель биологических жидкостей в микрофлюидике.
6	Математическое моделирование дробления капель биологических жидкостей в микрофлюидике.
7	Математическое моделирование объединения капель биологических жидкостей в микрофлюидике
8	Математическое моделирование процесса с генерацией тепла в микроканале для различных наборов реагирующих жидкостей.

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

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

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 креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

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

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

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по 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	Белоцерковский О. М. Численное моделирование в механике сплошных сред / О. М. Белоцерковский. - Москва: Наука, Физматлит, 1984.	14
2	Ильюшин А. А. Механика сплошной среды : учебник для вузов / А. А. Ильюшин. - Москва: Изд-во МГУ, 1990.	29
3	Колесниченко И. В. Введение в механику несжимаемой жидкости : учебное пособие / И. В. Колесниченко, А. Н. Шарифулин. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2019.	5
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Гершуни Г. З. Устойчивость конвективных течений / Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкий, А. А. Непомнящий. - Москва: Наука, 1989.	3
2	Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности : учебник для вузов / В. И. Ролдугин. - Долгопрудный: Интеллект, 2008.	5
2.2. Периодические издания		
1	Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа : научный журнал / Российская академия наук. - Москва: Наука, 1966 - .	1
2	Прикладная механика и техническая физика : журнал / Российская академия наук. Сибирское отделение; Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева; Институт теоретической и прикладной механики. - Новосибирск: СО РАН, 1960 - .	
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

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / 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.	Adobe Acrobat Reader DC. бесплатное ПО просмотра PDF
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Elsevier "Freedom Collection"	https://www.elsevier.com/
База данных Scopus	https://www.scopus.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/
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	http://www.diss.rsl.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Установка Educational Microfluidic Starter Kit с цифровым микроскопом и набором расходных материалов	1
Лабораторная работа	Лабораторная установка "Конвективная петля"	1

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Лабораторная установка "Эффект Кайя" с комплектом рабочих жидкостей	1
Лабораторная работа	Установка Educational Microfluidic Starter Kit с цифровым микроскопом и набором расходных материалов	1
Лекция	Лекционная аудитория, оборудованная электронным проектором и экраном	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

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



«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

УТВЕРЖДЕНО
на заседании кафедры ПФ
протокол № ___ от __. __. 2019 г.
Заведующий кафедрой
_____ Д.А.Брацун

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
(приложение к рабочей программе дисциплины)

Дисциплина: Основы микрофлюидики

Форма обучения: очная

Уровень высшего образования: магистратура

Общая трудоёмкость: 108 ч (ЗЕ)

Направление подготовки: 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Профиль программы: Хемобиодинамика и биоинформатика

Выпускающая кафедра: Прикладной физики

Курс: 1 **Семестр:** 1

Форма промежуточной аттестации: Зачет, 1

Пермь 2023

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Основы микрофлюидики» и разработан на основании:

- положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ, утвержденного «29» апреля 2014 г.;
- приказа ПНИПУ от 03.12.2015 № 3363-В «О введении структуры ФОС»;
- рабочей программы дисциплины «Основы микрофлюидики», утвержденной __.__. 2019 г.

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

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (1-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (табл. 1.1).

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

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Зачёт
Усвоенные знания						
3.1 знать основные понятия, процессы и предметные области для управления проектами		ТО1		КР2		ТВ
3.2 знать особенности управления проектами в ситуациях риска	С1	ТО2		КР1		ТВ
3.3. знать методы управления проектами по созданию информационных систем		ТО3		КР2		ТВ
Освоенные умения						
У.1 уметь планировать, организовывать, контролировать и анализировать проектную деятельность			ОЛР1	КР2		ПЗ
У.2 уметь оценивать риски при разработке и осуществлении проектов			ОЛР2	КР1		ПЗ

			ОЛР3			
У.3. уметь руководить процессом проектирования и разработки информационных систем			ОЛР4 ОЛР5	КР2		ПЗ
Приобретенные владения						
В.1 владеть навыками проектирования и разработки информационных систем в составе проектных команд в качестве участника или руководителя проекта владеть навыками составления инновационных проектов в области создания информационных систем управления предприятиями			ОЛР6			ПЗ
В.2 владеть современными методами оценивания последствий при управлении проектами			ОЛР7			ПЗ
В.3 владеть навыками составления инновационных проектов в области создания информационных систем управления предприятиями			ОЛР8 ОЛР9			ПЗ

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание зачета.

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

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

2.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится по каждой теме для оценки усвоения дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) в форме проверки результатов выполнения задания практических занятий. 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 дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графика учебного процесса, приведенного в РПД, в форме отчетов по практическим занятиям и защиты отчетов по индивидуальным заданиям.

2.2.1. Защита отчетов по практическим занятиям

Всего запланировано 1 отчет по результатам практических занятий. 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 магистратуры.

2.2.2. Защита отчетов по индивидуальным заданиям

Всего запланировано 1 индивидуальное задание. Индивидуальное задание предназначено для проверки освоения ЗУВ по нескольким взаимосвязанным темам. Типовые темы индивидуальных заданий приведены в РПД.

Защита отчета по индивидуальному заданию проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

2.2.3. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Уравнения микрофлюидики», вторая КР – по модулю 2 «Динамика микрокапель и тонких струй».

Типовые задания первой КР:

1. Уравнение неразрывности
2. Уравнение переноса импульса
3. Уравнение сохранения энергии в интегральной и дифференциальной форме.
4. Граничные условия в микрослоях

Типовые задания второй КР:

1. Точные решения системы уравнений вязкой жидкости.
2. Запись уравнений гидромеханики вязкой жидкости в безразмерном виде.
3. Подобие течений вязкой жидкости.
4. Течение вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса в нанотрубке.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС магистерской программы.

2.3. Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех отчетов по практическим занятиям и индивидуальным заданиям 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 два теоретических вопроса (ТВ) для проверки усвоенных знаний и одно комплексное практическое задание (КЗ) для контроля уровня усвоенных умений и приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

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

2.3.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Уравнение Навье-Стокса.
2. Отличие постановки начально-краевых задач для вязкой и идеальной жидкости.
3. Точные решения системы уравнений вязкой жидкости.
4. Запись уравнений гидромеханики вязкой жидкости в безразмерном виде.
5. Подобие течений вязкой жидкости.
6. Критерии подобия. Их физический смысл.
7. Течение вязкой жидкости при больших числах Рейнольдса.
8. Уравнений Прандтля ламинарного пограничного слоя.
9. Течение вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса.
10. Характеристика режимов течения жидкости.
11. Полуэмпирические теории турбулентности.
12. Модели идеальной и вязкой жидкости.
13. Плоское движение.
14. Дивергенция скорости. Физический смысл дивергенции скорости.
15. Ускорение циркуляции. Теорема Томпсона
16. Понятие и важнейшие свойства функции тока.
17. Понятие и важнейшие свойства потенциала скорости.
18. Тензоры напряжений для идеальной и вязкой жидкости.
19. Интегральная запись закона количества движения.
20. Уравнения движения сплошной среды в напряжениях.

Типовые комплексные задания для контроля усвоенных умений и приобретенных владений:

1. Сформулировать краевую задачу для исследуемой гидродинамической проблемы.
2. Формулировка краевой задачи для плоских течений несжимаемой жидкости в терминах функции тока.
3. Привести уравнения конвекции к безразмерному виду.

Полный перечень теоретических вопросов и комплексных практических за-

даний 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 дисциплинарных 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 магистерской программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и дисциплинарных компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций

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

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных 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 программы магистратуры.

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

Типовые индивидуальные задания для проверки умений и владений

Проверяемые результаты обучения: $y1 - y4$; $v1 - v2$

Индивидуальные задания представляют собой развернутую презентацию на тему семинарского занятия и включают в себя реферат по избранной теме. Список типовых тем:

- Гравитационные волны на поверхности жидкости.
- Гидродинамические законы подобия.
- Точные решения уравнения Навье – Стокса при ламинарном течении жидкости.
- Течение при малых числах Рейнольдса. Формула Стокса.
- Фильтрация в пористой среде.
- Ячейка Хелле-Шоу.
- Ламинарный пограничный слой.
- Полуэмпирические модели турбулентности.
- Тепловая конвекция.
- Термокапиллярная конвекция.

Критерии оценки индивидуальных заданий

Оценка «отлично» ставится, если в работе достигнуты все результаты, указанные в задании, для их достижения использованы эффективные методы и адекватные программные средства, отчет по работе содержит все необходимые разделы, а качество его оформления соответствует установленным в вузе требованиям и при защите студент проявил отличное владение материалом работы и способность аргументировано отвечать на поставленные вопросы по теме работы.

Оценка «хорошо» ставится, если в работе достигнуты все результаты, указанные в задании, для их достижения использованы допустимые методы и программные средства, отчет по работе содержит все необходимые разделы, а качество его оформления соответствует установленным в вузе требованиям и при защите студент проявил хорошее владение материалом работы и способность отвечать на все поставленные вопросы по теме работы.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если в работе с использованием произвольных средств и методов достигнуты основные результаты, указанные в задании, качество оформления отчета в основном соответствует установленным в вузе требованиям и при защите студент проявил удовлетворительное владение материалом работы и способность отвечать на большинство поставленных вопросов по теме работы.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если в работе не достигнуты основные результаты, указанные в задании или качество оформления отчета не соответствует установленным в вузе требованиям, или при защите студент проявил неудовлетворительное владение материалом работы и не смог ответить на большинство поставленных вопросов по теме работы.