

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
прикладной математики и  
информатики**

**А.М. Райгородский**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Математическое моделирование турбулентных течений
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математического моделирования и прикладной математики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 105 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 120 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: Б.Н. Четверушкин, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры математического моделирования и прикладной математики  
02.04.2024

## Аннотация

Дисциплина является уникальной и нацелена на углубленное изучение теории турбулентности. Совершенно очевидно, что только глубокое фундаментальное изучение механизмов порождения турбулентной энергии, скорости ее диссипации и других аспектов корреляций пульсационных скоростей, позволяет проводить математическое моделирование закрученных течений однофазных и двухфазных сред, рассчитывать процессы переноса тепла и массы в химических реакторах, учитывать влияние турбулентности при горении, а также анализировать сложные природные явления (смерчи, циклоны, песчаные бури, грязевые сели, морские штормы и цунами), в которых определяющую роль играет турбулентность. Другой особенностью настоящей образовательной программы является овладение современными численными методами расчета турбулентных течений, таких как прямые методы моделирования турбулентности и инженерные методы, основанные на решении уравнений переноса кинетической энергии турбулентности и ее скорости диссипации, которые позволяют решать сложные задачи технической физики.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Освоение студентами фундаментальных знаний в численном моделировании турбулентных течений, изучение некоторых аналитических методов исследования неустойчивости, ознакомление с пакетами прикладных задач для решения соответствующих задач.

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области математического моделирования турбулентных течений как дисциплины, интегрирующей подготовку специалистов в области математической физики и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам создания математических моделей турбулентных течений, умение пользоваться как существующими пакетами программ, так и создание новых;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области математического моделирования турбулентных течений в рамках выпускных работ на степень магистра.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области информатики и вычислительной техники, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области информатики и вычислительной техники и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

ПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями	
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- соотношение принципов и гипотез в построении научных систем и теорий;
- понятия энергии и энтропии;
- современные проблемы физики, химии, математики, биологии, экологии;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях к естественным наукам;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- применение современных технологий и систем, в том числе компьютерных и информационных технологий и систем, в области устойчивого развития и безопасности жизнедеятельности.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- моделировать процессы и анализировать модели с использованием информационных технологий;
- использовать вероятностные модели для конкретных процессов и проводить необходимые расчеты в рамках построенной модели.

владеть:

- логикой в научном творчестве;
- научной картиной мира;
- математическим моделированием природных, антропогенных и технологических процессов и явлений, надежности работы отдельных звеньев технических систем.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Гидродинамическая неустойчивость.	6	6		15
2	Дисперсионные соотношения для неустойчивости Рэля-Тейлора. Анализ фундаментальных событий.	6	6		15
3	Неустойчивость Рэля - Тейлора.	6	6		15
4	Термодинамика ядерного синтеза.	6	6		15
5	Управляемый термоядерный синтез.	6	6		15
6	Вейвлет анализ. Системы с замкнутой магнитной конфигурацией. Комплекс программ NUT.	8	9		15
7	Инкремент. Ширина зоны перемешивания.	4	2		10
8	Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.	10	2		10
9	Неустойчивость Рихтмайера-Мешкова.	8	2		10
Итого часов		60	45		120
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Гидродинамическая неустойчивость.

Основные виды гидродинамических неустойчивостей. Неустойчивость Рэля-Тейлора, неустойчивость Рихтмайера-Мешкова, неустойчивость Гельмгольца. Турбулентное перемешивание жидкостей.

2. Дисперсионные соотношения для неустойчивости Рэлея-Тейлора. Анализ фундаментальных событий.

Аналитический вывод дисперсионных соотношений для различных видов симметрии. Получение уравнений для массы, циркуляции.

3. Неустойчивость Рэлея - Тейлора.

Гравитационная неустойчивость. Постановка задачи для несжимаемой жидкости в плоском случае. Постановка начальных и граничных условий. Система уравнений для малых возмущений. Нахождение аналитического решения. Влияние цилиндрической и сферической геометрии на развитие неустойчивости.

4. Термодинамика ядерного синтеза.

Энергетический выигрыш ядерной реакции. Основные виды реакций ядерного синтеза. Критерий Лоусона. Водородная бомба.

5. Управляемый термоядерный синтез.

Получение полезной термоядерной энергии. Временные и температурные условия для УТС. Магнитное удержание плазмы.

Семестр: 2 (Весенний)

6. Вейвлет анализ. Системы с замкнутой магнитной конфигурацией. Комплекс программ NUT.

Вейвлет преобразование. Фильтры. Локальное усреднение. Дискретное преобразование Фурье. Пинч-эффект. Сужение плазмы в плазменный шнур. Неустойчивый плазменный шнур. Стабилизация плазменного шнура магнитным полем.

Пакет программ. Постановка начальных и граничных условий для решения задач различных гидродинамических неустойчивостей. Использование пакета программ для расчетов на многопроцессорных вычислительных системах.

7. Инкремент. Ширина зоны перемешивания.

Аналитический вывод уравнения для нахождения инкремента. Зависимость инкремента неустойчивости от формы симметрии (плоская, сферическая, цилиндрическая). Физический смысл инкремента.

Теоретическое предсказание ширины зоны перемешивания. Зависимость ширины зоны перемешивания от конфигурации границы. Различные способы нахождения ширины зоны перемешивания в численном эксперименте.

8. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.

Постановка задачи. Плоский случай течения ограниченных слоев жидкости. Влияние размеров струи. Различные виды симметрии.

9. Неустойчивость Рихтмайера-Мешкова.

Ударная волна. Прохождение ударной волны через границу между двумя газами. Скорость прошедшей и отраженной ударной волны. Скорость контактной границы. Влияние симметрии на инкремент.

**5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

1. Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система)
2. Необходимое программное обеспечение Power Station 4.0, MATLAB.
3. Обеспечение самостоятельной работы - базы данных по журналам Web of Science.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Турбулентное движение в гидросистемах [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ф. Г. Галимзянов ; М-во высш. и средн. спец. образования, Уфим. авиац. ин-т .— Уфа : Изд-во Уфим. авиац. ин-та, 1980 .— 87 с.
2. Самарский А.А. Введение в численные методы, - СПб: Лань, 2009. - 288 с.- ISBN 978-5-8114-0602-9.
3. Неуважаев В.Е. Математическое моделирование турбулентного перемешивания, - Снежинск: Изд-во РФЯЦ – ВНИИТФ, 2007. – 160 с.
4. Юн А.А. Моделирование турбулентных течений. Изд.2, испр. и доп., - Москва: Издательская группа URSS, 2010. – 352 с. ISBN 978-5-397-01310-9.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Курс теоретической физики (в 10 тт.) Т. 6. Гидродинамика. 5-е изд., стер., - Москва: Изд-во Физматлит, 2006. – 736 с. ISBN 5-9221-0121-8.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа, - Москва: Дрофа, 2003. – 840 с. ISBN 5-7107-6327-6.
7. Лебо И.Г., Тишкин В.Ф. Исследование гидродинамической неустойчивости в задачах лазерного термоядерного синтеза методами математического моделирования, - Москва: Изд-во Физматлит, 2006. – 304 с. ISBN 5-9221-0683-X.
8. Н.В. Змитренко, Н.Г. Прончева, В.Б. Розанов, Р.А. Яхин. Модель перемешивания оболочек термоядерной лазерной мишени при сферическом сжатии, : Квант. электроника, 2007, 37 (8), 784–791.

### Дополнительная литература

1. Численные методы [Текст] : в 2 кн. : учебник для вузов / Н. Н. Калиткин, Е. А. Альшина .— М. : Академия, 2013 .— (Университетский учебник. Прикладная математика и информатика) .— Кн. 1 : Численный анализ. - 2013. - 304 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://scitation.aip.org/>

<http://www.sciencemag.org/>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Необходимое программное обеспечение Power Station 4.0, MATLAB.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы, методы доказательств.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение и конспектирование рекомендованной литературы;

- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- выполнение лабораторных работ, для осознания связей между теорией и практическими навыками;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математического моделирования и прикладной математики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** Б.Н. Четверушкин, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области информатики и вычислительной техники, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области информатики и вычислительной техники и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий

ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математическое моделирование турбулентных течений» обучающийся должен:

### знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- соотношение принципов и гипотез в построении научных систем и теорий;
- понятия энергии и энтропии;
- современные проблемы физики, химии, математики, биологии, экологии;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях к естественным наукам;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- применение современных технологий и систем, в том числе компьютерных и информационных технологий и систем, в области устойчивого развития и безопасности жизнедеятельности.

### уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- моделировать процессы и анализировать модели с использованием информационных технологий;
- использовать вероятностные модели для конкретных процессов и проводить необходимые расчеты в рамках построенной модели.

### владеть:

- логикой в научном творчестве;
- научной картиной мира;
- математическим моделированием природных, антропогенных и технологических процессов и явлений, надежности работы отдельных звеньев технических систем.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Вопросы (9 семестр)

1. Истинная мгновенная скорость в жидкости представляется в виде суммы:

- 1) осредненной и локальной составляющих;
- 2) средневзвешенной и неустановившейся составляющих;
- 3) осредненной и пульсационной составляющих.

2. В процессе усреднения уравнений Навье-Стокса по времени, достаточно большим по сравнению с периодом пульсации, получаем уравнения:

- 1) Лапласа;
- 2) Рейнольдса;
- 3) Шредингера.

3. Полные касательные напряжения в турбулентном потоке складываются из суммы:
- 1) вязкостных и турбулентных;
  - 2) ньютоновских и неньютоновских;
  - 3) квазистационарных и неустановившихся.
4. Теория моделирования турбулентности Л. Прандтля основана на понятии:
- 1) турбулентного напряжения;
  - 2) пути перемешивания;
  - 3) Лагранжевой скорости.
5. Формула Кармана предназначена для нахождения:
- 1) профиля скорости в пограничном слое;
  - 2) длины пути перемешивания;
  - 3) динамической скорости.
6. Критическое число Рейнольдса определяет:
- 1) зону заведомо устойчивого ламинарного режима течения;
  - 2) относительный размер вязкого ламинарного подслоя в погранслое;
  - 3) пространственный масштаб турбулентных пульсаций.
7. Какая модель не относится к моделированию турбулентности:
- 1)  $k-\varepsilon$  модель;
  - 2)  $k-\omega$  модель;
  - 3) VOF модель.
8. Формула Буссинеска связывает:
- 1) турбулентную вязкость и гидравлический уклон;
  - 2) касательное напряжение и поперечный градиент усредненной скорости;
  - 3) усредненную и мгновенную скорости потока.
9. Формула Шифринсона предназначена для:
- 1) расчета коэффициента гидравлического сопротивления в квадратичной зоне турбулентного режима;
  - 2) расчета турбулентной вязкости;
  - 3) расчета местных сопротивлений в турбулентном потоке.
10. В общем случае коэффициент гидравлического сопротивления при турбулентном течении в трубопроводе является функцией:
- 1) температуры и напора;
  - 2) давления и плотности;
  - 3) критерия Рейнольдса и относительной шероховатости

#### Вопросы (10 семестр)

1. По трубопроводу диаметром  $270 \times 10$  мм перекачивается вода с расходом  $150 \text{ м}^3/\text{час}$ . Определить скорость воды в трубе
- 1) 0,85;
  - 2) 0,56;
  - 3) 0,92
2. По трубопроводу диаметром  $270 \times 10$  мм перекачивается вода с расходом  $150 \text{ м}^3/\text{час}$ . Определить скорость режим движения в трубе
- 1) ламинарное течение;
  - 2) развитое турбулентное течение;
  - 3) переходный режим
3. Бензол с расходом  $200 \text{ т/час}$  и средней температуре  $40^\circ\text{C}$  поступает в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника, состоящего из 717 труб диаметром  $d \times \delta = 20 \times 2 \text{ мм}$ . Определить скорость бензола в трубах трубного пучка.

1) 0,65;

2) 0,55;

3) 0,45

4. Бензол с расходом 200 т/час и средней температуре 40°C поступает в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника, состоящего из 717 труб диаметром  $d \times \delta = 20 \times 2$  мм. Определить режим течения бензола в трубах трубного пучка.

1) ламинарный;

2) турбулентный;

3) переходный режим

5. На трубопроводе имеется переход с диаметра 50 мм на диаметр 100 мм (диаметры внутренние). По трубопроводу движется вода, имеющая температуру 20°C. Её скорость в узком сечении 1,5 м/с. Определить массовый расход воды.

1) 2,9 кг/с;

2) 2,2 кг/с;

3) 1,7 кг/с

6. На трубопроводе имеется переход с диаметра 50 мм на диаметр 100 мм (диаметры внутренние). По трубопроводу движется вода, имеющая температуру 20°C. Её скорость в узком сечении 1,5 м/с. Определить скорость воды в широком сечении.

1) 0,375 м/с;

2) 0,425 м/с;

3) 0,255 м/с

7. На трубопроводе имеется переход с диаметра 50 мм на диаметр 100 мм (диаметры внутренние). По трубопроводу движется вода, имеющая температуру 20°C. Её скорость в узком сечении 1,5 м/с. Определить режимы течения в узком и широком сечениях.

1) в узком – турбулентный, в широком - турбулентный;

2) в узком – ламинарный, в широком - турбулентный;

3) в узком – турбулентный, в широком - ламинарный

8. Азот с расходом 6400 м<sup>3</sup>/час (при н.у.) подаётся в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника. Абсолютное давление газа 3 кгс/см<sup>2</sup>. Температура на входе в трубный пучок 120°C, на выходе 30°C. Число труб в аппарате 379 шт., их диаметр 16×1.5 мм. Определить скорость азота на входе в трубный пучок.

1) 17,1 м/с;

2) 15 м/с;

3) 20,3 м/с

9. Азот с расходом 6400 м<sup>3</sup>/час (при н.у.) подаётся в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника. Абсолютное давление газа 3 кгс/см<sup>2</sup>. Температура на входе в трубный пучок 120°C, на выходе 30°C. Число труб в аппарате 379 шт., их диаметр 16×1.5 мм. Определить скорость азота на выходе из трубного пучка.

1) 13,1 м/с;

2) 18,2 м/с;

3) 15,9 м/с

10. На какие виды разделяют действующие на жидкость внешние силы?

а) силы инерции и поверхностного натяжения;

б) внутренние и поверхностные;

в) массовые и поверхностные;

г) силы тяжести и давления.

#### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету (9 семестр):

- 1) Термодинамика ядерного синтеза.
- 2) Управляемый термоядерный синтез.
- 3) Плазма и управляемый термоядерный синтез.
- 4) Временные и температурные условия для УТС.
- 5) Реакции ядерного синтеза.
- 6) Термоядерный синтез в земных условиях.
- 7) Магнитное удержание плазмы.
- 8) Понятие гидродинамической неустойчивости.
- 9) Несжимаемость.
- 10) Неустойчивость Рэлея-Тейлора.
- 11) Численные методы для решения задач перемешивания.
- 12) Пакет программ NUT для решения задач перемешивания.
- 13) Системы с замкнутой магнитной конфигурацией.
- 14) Пинч-эффект.
- 15) Влияние эффекта Холла на неустойчивость Рэлея-Тейлора

Вопросы к дифференцированному зачету (10 семестр):

- 1) Инкремент.
- 2) Неустойчивость Рэлея-Тейлора в случае зависимости  $g = g(t)$ .
- 3) Обобщение Релей – Тейлоровской неустойчивости на случай сферической геометрии.
- 4) Обобщение Релей – Тейлоровской неустойчивости на случай цилиндрической геометрии.
- 5) Анализ «фундаментальных событий» в развитии неустойчивости Рэлея - Тейлора.
- 6) Циркуляция, масса, импульс.
- 7) Неустойчивость Рихтмайера – Мешкова.
- 8) Ширина зоны перемешивания.
- 9) Неустойчивость Рихтмайера-Мешкова В случае цилиндрической и сферической симметрии.
- 10) Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.
- 11) Проблемы перемешивания.
- 12) Теоретическая формула для ширины зоны перемешивания.
- 13) Влияние многомодовости на ширину зоны перемешивания.
- 14) Вейвлет – анализ.
- 15) Численные методы для решения задач перемешивания.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

Во время проведения дифференцированного зачета учащиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой и проч.