

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



*подписано электронно-цифровой подписью*

## **Программа дисциплины**

Турбулентность и теплопередача

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика твердого деформируемого тела

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): профессор, д.н. (профессор) Мазо А.Б. (Кафедра аэрогидромеханики, отделение механики), Alexander.Mazo@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1	Способен самостоятельно выполнять анализ поставленной задачи, выбирать корректный метод ее решения, а также строить и реализовывать алгоритм решения задачи
ПК-4	Способен применять методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

Знать основные уравнения конвективного теплообмена в ламинарных и турбулентных течениях. Освоить методы подобия и размерности, знать основные критерии подобия.

Должен уметь:

Уметь осознанно выбрать модель турбулентности для решения конкретной задачи, в том числе при использовании CFD-пакетов.

Должен владеть:

Овладеть методами построения автомоделных решений уравнений теплообмена, численными методами решения тепловых задач.

Должен демонстрировать способность и готовность:

Различать ламинарные и турбулентные режимы течения жидкости. Иметь представление о теории турбулентности А.Н.Колмогорова, знать ее гипотезы и основные следствия.

Понимать смысл уравнений Рейнольдса как осредненных уравнений Навье-Стокса. Владеть основными приемами замыкания этих уравнений для создания полуэмпирических моделей

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.01.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.04.03 "Механика и математическое моделирование (Механика твердого деформируемого тела)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 1 курсе в 2 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 51 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 32 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 57 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен во 2 семестре.

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

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Самостоятельная работа
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
1.	Тема 1. Ламинарные и турбулентные течения. Опыт Рейнольдса. Решение Хагена-Пуазейля и его неустойчивость. Критическое число Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса и турбулентной конвективной теплопроводности. Статистические характеристики пульсаций.	2	2	0	2	0	0	0	6
2.	Тема 2. Теория А.Н.Колмогорова. Интервалы масштабов турбулентности. Гипотезы Колмогорова и их следствия.	2	2	0	4	0	0	0	6
3.	Тема 3. Дифференциальные уравнения для турбулентных пульсаций. Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Уравнения для пульсаций турбулентного потока тепла.	2	2	0	2	0	0	0	4
4.	Тема 4. Дифференциальные модели замыкания уравнений Рейнольдса. Модели k-ε, k-ω, SST.	2	2	0	2	0	0	0	8
5.	Тема 5. Модели турбулентной вязкости. Модель пути смешения Прандтля. Модели переноса вихревой вязкости.	2	2	0	2	0	0	0	6
6.	Тема 6. Моделирование крупных вихрей. Фильтрованные уравнения Навье-Стокса и подсеточные напряжения. Динамическая модель Германно.	2	2	0	2	0	0	0	4
7.	Тема 7. Теплопроводность. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Энтальпия. Фазовые превращения. Критерии подобия. Стационарная теплопередача через стенку. Автомодельные решения. Численное решение задач теплопроводности.	2	2	0	4	0	0	0	6
8.	Тема 8. Тепловые процессы при фазовых превращениях. Классическая и обобщенная двухфазная задача Стефана. Автомодельные решения. Методы численного решения. Теплообмен при испарении и конденсации жидкости. Критерии подобия.	2	2	0	4	0	0	0	4
9.	Тема 9. Уравнения конвективной теплопроводности. Критерии подобия. Тепловой пограничный слой. Методы расчета. Естественная конвекция.	2	1	0	6	0	0	0	6

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
10.	Тема 10. Теплообмен излучением. Закон Стефана-Больцмана. Нелинейные граничные условия излучения. Радиационный теплообмен между телами.	2	1	0	4	0	0	0	7
	Итого		18	0	32	0	0	0	57

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

**Тема 1. Ламинарные и турбулентные течения. Опыт Рейнольдса. Решение Хагена-Пуазейля и его неустойчивость. Критическое число Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса и турбулентной конвективной теплопроводности. Статистические характеристики пульсаций.**

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Ламинарные и турбулентные течения: описание феномена. Опыт Рейнольдса. Решение Хагена-Пуазейля и его неустойчивость. Критическое число Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Среднее и пульсация. Тензор турбулентных напряжений. Осредненное уравнение конвективной теплопроводности. Турбулентные вязкость, теплопроводность, число Прандтля. Физический смысл напряжений Рейнольдса. Статистические характеристики пульсаций.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Решение Хагена-Пуазейля для течения вязкой жидкости в трубе. Формулы для профиля скорости и коэффициента сопротивления при ламинарном течении в зависимости от числа Рейнольдса. Вывод уравнений URANS.

**Тема 2. Теория А.Н.Колмогорова. Интервалы масштабов турбулентности. Гипотезы Колмогорова и их следствия.**

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Теория А.Н. Колмогорова. Однородная изотропная турбулентность. Каскадный перенос энергии в турбулентном потоке. Интервалы масштабов турбулентности: энергосодержащий, инерционный, диссипативный. Гипотезы Колмогорова и их следствия.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Интервалы масштабов турбулентности: энергосодержащий, инерционный, диссипативный. Три гипотезы Колмогорова и их следствия. Применение теории подобия для вывода закона Колмогорова "5/3", закона Обухова, оценки масштаба диссипативных вихрей вихрей и частоты пульсаций скорости. Оценка вычислительных ресурсов для прямого численного моделирования мелкомасштабной турбулентности.

**Тема 3. Дифференциальные уравнения для турбулентных пульсаций. Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Уравнения для пульсаций турбулентного потока тепла.**

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Дифференциальные уравнения для турбулентных пульсаций. Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Физическая интерпретация уравнений эволюции турбулентности. Члены генерации, диссипации, перераспределения. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Уравнения для пульсаций турбулентного потока тепла.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Вывод дифференциальных уравнений для турбулентных пульсаций. Вывод уравнений Фридмана-Келлера. Моменты высших порядков, их вычисление и моделирование. Физическая интерпретация уравнений эволюции турбулентности. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Вывод уравнений для пульсаций турбулентного потока тепла.

**Тема 4. Дифференциальные модели замыкания уравнений Рейнольдса. Модели k-ε, k-ω, SST.**

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Дифференциальные модели замыкания уравнений Рейнольдса. Модель Колмогорова-Прандтля; семейство моделей (стандартная Лаундера-Сполдинга, RNG, realizable). Семейство моделей (стандартная Вилкокса, SST зональная Ментера).

практическое занятие (2 часа(ов)):

Формула Буссинеска для замыкания уравнений Рейнольдса. Вихревая вязкость и турбулентная теплопроводность. Семейство двухпараметрических моделей k-ε: 1) стандартная Лаундера-Сполдинга, 2) ренормализованная RNG, 3) реализуемая (realizable). Семейство моделей k-ω: 1) стандартная Вилкокса, 2) SST зональная Ментера.

**Тема 5. Модели турбулентной вязкости. Модель пути смешения Прандтля. Модели переноса вихревой вязкости.**

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Модели турбулентной вязкости. Модель пути смешения Прандтля. Логарифмический профиль скорости. Модели переноса вихревой вязкости Ни-Коважного, Секундова, Спаларта-Аллмараса.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Модели турбулентной вязкости. Модель пути смешения Прандтля. Логарифмический профиль скорости, программа расчета эпюры универсального профиля в составном турбулентном пограничном слое. Модели переноса вихревой вязкости Ни-Коважного, Секундова, Спаларта-Аллмараса.

**Тема 6. Моделирование крупных вихрей. Фильтрованные уравнения Навье-Стокса и подсеточные напряжения. Динамическая модель Германо.**

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Моделирование крупных вихрей (LES). Пространственные фильтры и их свойства. Фильтрованные уравнения Навье-Стокса. Тензор подсеточных напряжений. Связь ширины фильтра и шага сетки. Модель Смагоринского-Лилли для подсеточных напряжений. Внутренняя непротиворечивость модели LES. Повторная фильтрация. Динамическая модель Германо.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Моделирование крупных вихрей LES. Написание программы для различных пространственных фильтров. Вывод фильтрованных уравнений Навье-Стокса. Замыкание LES: модель Смагоринского-Лилли для подсеточных напряжений.

**Тема 7. Теплопроводность. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Энтальпия. Фазовые превращения. Критерии подобия. Стационарная теплопередача через стенку. Автомодельные решения. Численное решение задач теплопроводности.**

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Теплопроводность. Теплоемкость, температуропроводность. Закон Фурье. Теплопроводность газов, жидкостей и твердых тел. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Энтальпия. Фазовые превращения: плавление-кристаллизация, испарение-конденсация. Скрытая теплота плавления и испарения. Граничные условия. Примеры постановок задач. Критерии подобия в теории теплопроводности. Решение модельных задач теплопроводности. Стационарная теплопередача через плоскую, цилиндрическую, однородную и композитную стенку. Оптимальная теплоизоляция. Автомодельные решения нестационарного уравнения теплопроводности при различных граничных условиях. Численное решение задач теплопроводности.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Вывод классического дифференциального уравнения теплопроводности. Вывод обобщенного уравнения теплопроводности в энтальпийной форме. Решение инженерных задач о теплопередаче через плоскую, цилиндрическую, однородную и композитную стенку. Построение автомодельных решений одномерных уравнений. Численное решение задач теплопроводности, их тестирование на автомодельных решениях.

**Тема 8. Тепловые процессы при фазовых превращениях. Классическая и обобщенная двухфазная задача Стефана. Автомодельные решения. Методы численного решения. Теплообмен при испарении и конденсации жидкости. Критерии подобия.**

лекционное занятие (2 часа(ов)):



Формулировка классической двухфазной задачи Стефана. Построение автомодельного решения. Энтальпийная постановка задачи Стефана. Методы численного решения. Теплообмен при испарении и конденсации жидкости. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Критерии подобия. Задача Нуссельта о конденсации пара на вертикальной пленке.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение автомодельных решений классической двухфазной задачи Стефана. Численное решение задачи Стефана в энтальпийной постановке. Аналитическое решение задачи Нуссельта о конденсации пара на вертикальной пленке.

**Тема 9. Уравнения конвективной теплопроводности. Критерии подобия. Тепловой пограничный слой. Методы расчета. Естественная конвекция.**

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Уравнения конвективной теплопроводности. Безразмерные переменные и критерии подобия. Числа  $Re$ ,  $Pe$ ,  $Nu$ ,  $Bi$ ,  $Pr$ ,  $Gr$ ,  $Ri$ . Точные решения. Тепловой пограничный слой. Методы расчета. Приближение Буссинеска для учета сжимаемости. Естественная и смешанная конвекция.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Численное решение системы уравнений Навье-Стокса и конвективной теплопроводности.

**Тема 10. Теплообмен излучением. Закон Стефана-Больцмана. Нелинейные граничные условия излучения. Радиационный теплообмен между телами.**

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Теплообмен излучением. Излучение нагретого тела. Закон Стефана-Больцмана. Нелинейные граничные условия излучения и их линеаризация. Радиационный теплообмен между телами. Угловые коэффициенты.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Численное решение задачи теплопроводности с нелинейным граничным условием Стефана-Больцмана.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;

- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

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

А.Б. Мазо, К.А. Поташев. Гидродинамика: учеб. пособие. ? Казань: Казан. ун-т, 2013. ? 2-е изд. ? 128 с - [http://www.kpfu.ru/docs/F532287718/Mazo\\_Potashev\\_Gidro dinamika.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F532287718/Mazo_Potashev_Gidro dinamika.pdf)

А.Б. Мазо. Основы теории и методы расчета теплопередачи: учебное пособие ? Казань: Казан. ун-т, 2013. - 144 с. - [http://www.kpfu.ru/docs/F139730217/Mazo\\_Teploperedacha.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F139730217/Mazo_Teploperedacha.pdf)

Научная электронная библиотека - <http://elibrary.ru/>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Студентам необходимо посещать лекции, вести конспект лекций вслед за изложением материала преподавателем. Рекомендуется прорабатывать конспект в течение дня после лекции и просматривать его вновь накануне следующей лекции. В случае обнаружения ошибок или возникновения вопросов по предыдущему материалу необходимо обратиться к преподавателю.
практические занятия	Для подготовки к практическим занятиям студенту рекомендуется предварительно прорабатывать как лекционный материал, так и материал предыдущих практических занятий. Основой для подготовки служит добросовестное выполнение домашнего задания. Для успешного решения задач первой части курса студентам рекомендуется вспомнить материал, освоенный в предыдущих семестрах в рамках базовых математических дисциплин.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов состоит из двух основных частей - проработка лекционного материала и выполнения домашних заданий. Для освоения теоретического и практического материала, в случае, когда конспектов оказывается недостаточным, или для более детальной проработки отдельных тем рекомендуется использовать литературу, указанную в соответствующем разделе. Все возникающие вопросы рекомендуется заранее четко сформулировать и впоследствии обсудить с преподавателем.



Вид работ	Методические рекомендации
экзамен	Подготовку к экзамену рекомендуется разделить на два этапа. На первом этапе прорабатываются все экзаменационные вопросы и формулируются вопросы к преподавателю в рамках консультации по разделам, недостаточно подробно описанным в рамках лекционного курса или более трудным в освоении материала. После консультации происходит окончательная проработка и закрепление материала по всем экзаменационным вопросам.

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

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

#### **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.04.03 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе "Механика твердого деформируемого тела".

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.01.01 Турбулентность и теплопередача

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика твердого деформируемого тела

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

**Основная литература:**

1. Нигматулин Р.И., Механика сплошной среды. Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика [Электронный ресурс] / Нигматулин Р. И. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - 640 с. - ISBN 978-5-9704-2898-6 - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970428986.html>
2. Марон, В.И. Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах: учебное пособие / В.И. Марон. - Санкт-Петербург: Лань, 2012. - 256 с. - ISBN 978-5-8114-1235-8.- Текст: электронный// Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/3189>
3. Высоцкий, Л.И. Математическое и физическое моделирование потенциальных течений жидкости: учебное пособие / Л.И. Высоцкий, Г.Р. Коперник, И.С. Высоцкий. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург: Лань, 2014. - 64 с. - ISBN 978-5-8114-1554-0.- Текст: электронный// Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/44842>
4. Андреев В.К. Математические модели механики сплошных сред: учебное пособие / В.К. Андреев. - Санкт-Петербург: Лань, 2015. - 240 с. - ISBN 978-5-8114-1998-2. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/67464>
5. Темам Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред: учебное пособие / Р. Темам, А. Миранвиль; под редакцией Г. М. Кобелькова; перевод И. О. Арушаняна. - 3-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2017. - 323 с. - ISBN 978-5-00101-494-2. - Текст: электронный// Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94110>

**Дополнительная литература:**

1. Новиков, И.И. Термодинамика: учебное пособие / И.И. Новиков. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург: Лань, 2009. - 592 с. - ISBN 978-5-8114-0987-7.- Текст: электронный// Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/286>
2. Кадет В. В. Перколяционный анализ гидродинамических и электрокинетических процессов в пористых средах: Монография / В.В. Кадет. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 256 с. - (Научная мысль; Гидродинамика). ISBN 978-5-16-005613-5 - URL: <http://znanium.com/catalog/product/346195>
3. Учайкин, В.В. Механика. Основы механики сплошных сред. Задачи с указаниями и ответами: учебное пособие / В.В. Учайкин. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-2803-8. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/101845>
4. Шинкин, В.Н. Механика сплошных сред: Курс лекций : учебное пособие / В.Н. Шинкин. - Москва: МИСИ, 2010. - 235 с. - ISBN 978-5-87623-370-7. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2079>

Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.01.01 Турбулентность и теплопередача

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика твердого деформируемого тела

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.