МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«___» _____ 20__ г. № ___

# Рабочая программа дисциплины

**Модели жидкостей и газов**

*(наименование дисциплины (модуля))*

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**01.03.03 Механика и математическое моделирование**

*(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)*

Направленность образовательной программы

**Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг**

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

Форма обучения

очная

*(очная / очно-заочная / заочная)*

Нижний Новгород

2021

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина **Модели жидкостей и газов** относится к обязательной части.

| № варианта | Место дисциплины в учебном плане образовательной программы | Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД |
|---|---|---|
| 1 | Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть | Дисциплина Б1.О.20, **Модели жидкостей и газов** относится к обязательной части ООП направления подготовки **01.03.03 Механика и математическое моделирование**. |

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| **Формируемые компетенции** (код, содержание компетенции) | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции** | | **Наименование оценочного средства** |
|---|---|---|---|
| | **Индикатор достижения компетенции*** (код, содержание индикатора) | **Результаты обучения по дисциплине**** | |
| *ОПК-2* | *ОПК-2.1.* | **Знает** основные понятия тензорного исчисления, технологию доказательства утверждений и преобразования выражений. | *Собеседование* |
| | *ОПК-2.2.* | **Умеет** осуществлять анализ и выбор методов решения задач тензорного исчисления. | *Контрольная работа* |
| | *ОПК-2.3.* | **Владеет навыками** применения базовых знаний и современного математического аппарата тензорного исчисления при решении теоретических и прикладных задач. | *Контрольная работа* |
| *ОПК-5* | *ОПК-5.1.* | | |
| | *ОПК-5.2.* | | |
| | *ОПК-5.3.* | | |

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

| | **очная форма обучения** |
|---|---|
| **Общая трудоемкость** | **5 з.е.** |
| **Часов по учебному плану** | **180** |
| **в том числе** | |
| **аудиторные занятия (контактная работа):** | |
| **- занятия лекционного типа** | **32** |
| **- занятия семинарского типа** | **32** |
| **Контроль самостоятельной работы (КСР)** | **3** |

| | |
|---|---|
| **самостоятельная работа** | **77** |
| **Промежуточная аттестация –** | **экзамен, зачет** |

### 3.2. Содержание дисциплины

| **Очная форма обучения** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины** | **Всего (часы)** | в том числе | | | | |
| | | **Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы** из них | | | | **СР[1], часы** |
| | | **ЗЛеТ[2]** | **ЗСеТ[3]** | **ЗЛаТ[4]** | **Всего** | |
| Введение | 2 | 2 | | | 2 | |
| Идеальная жидкость. уравнения Эйлера.Гидростатика | 28 | 4 | 6 | | 10 | 18 |
| Потенциальное обтекание сферы, цилиндра | 20 | 4 | 4 | | 8 | 12 |
| Волны на поверхности жидкости | 18 | 4 | 4 | | 8 | 10 |
| Гидродинамика вязкой жидкости | 28 | 6 | 6 | | 12 | 16 |
| Устойчивость течения жидкости. Турбулентное течение | 15 | 4 | 4 | | 8 | 7 |
| Звук | 15 | 4 | 4 | | 8 | 7 |
| Газовая динамика | 15 | 4 | 4 | | 8 | 7 |
| [1] **Самостоятельная работа обучающегося.**<br>[2] **Занятия лекционного типа.**<br>[3] **Занятия семинарского типа.**<br>[4] **Занятия лабораторного типа.** | | | | | | |

**Краткое содержание разделов и тем дисциплины**

1.Введение. Способы описания движения жидкости: эйлеров и лагранжев способы задания движения жидкости,переход от одного описания к другому, субстанциональная и локальная производные по времени. Система уравнений гидродинамики идеальной жидкости: уравнение неразрывности, уравнение Эйлера, полнота системы уравнений, уравнение состояния.

2. Гидростатика:основные уравнения, условия гидростатического равновесия, частота Вяйсяля.

3. Теорема Бернулли и закон сохранения энергии: теорема Бернулли и некоторые применения теоремы, теорема Бернулли как следствие закона сохранения энергии, закон сохранения энергии в нестационарном случае.

4. Закон сохранения импульса: тензор плотности потока импульса, теорема Эйлера и ее применение,

5.Вихревое движение жидкости: циркуляция скорости, теорема о сохранении циркуляции скорости, теоремы Гельмгольца о вихрях.

6.Уравнения гидродинамики для потенциального движения: потенциал скорости, плоское течение функция тока.

Применение теории аналитических функций в задачах гидродинамики: комплексный потенциал, примеры двумерных течений конформные преобразования.

7..Обтекание сферы потенциальным потоком, парадокс Даламбера- Эйлера. Стационарное обтекание кругового цилиндра: циркуляционное обтекание цилиндра, подъемная сила, формула Жуковского.

8.Гравитационные поверхностные волны: основные уравнения, гармонические волны, дисперсионное уравнение, приближения мелкой и глубокой воды,энергия волн.

9 Поверхностные явления. Формула Лапласа. Капиллярные волны на поверхности жидкости: чисто капиллярные волны, гравитационно-капиллярные волны.

10. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости: коэффициент вязкости и вязкие напряжения, уравнение Навье-Стокса, вязкие силы. Примеры течений вязкой жидкости: течение Куэтта, течение Пуазейля между двумя пластинками, течение Пуазейля в круглой трубе, обтекание сферы медленным течением вязкой жидкости, формула Стокса Стационарное течение жидкости между вращающимися цилиндрами.

11. Подобие гидродинамических течений. Число Рейнольдса. Число Фруда. Число Струхаля. Течение при малых числах Рейнольдса. Обтекание тела произвольной формы.

12.. Пограничный слой, вязкие волны, уравнения Прандтля пограничного слоя.

13. Устойчивость стационарного движения жидкости. Устойчивость движения жидкости в пространстве между двумя вращающимися цилиндрами. Неустойчивость тангенциального разрыва.

14. Турбулентное течение. Переход от ламинарного течения к турбулентному течению. Развитая турбулентность. Уравнение Рейнольдса для усредненного потока.

15. Звуковые волны. Монохроматические волны. Энергия звуковой волны. Геометрическая акустика. Распространение звука в движущейся среде. Эффект Доплера.

16. Особенности газовой динамики. Число Маха. Характеристическая поверхность. Стационарный поток сжимаемой жидкости.

17. Поверхности разрыва. Ударные волны. Ударная адиабата. Истечение газа через сопло. Сопло Лаваля.

**4.Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *задач (практических заданий), контрольных работ* и

контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к экзамену,*зачёту*.

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

| Шкала оценивания сформированности компетенций | | Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Знания | Умения | Навыки |
| **плохо** | **не зачтено** | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа |
| **неудовлетворительно** | | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. |
| **удовлетворительно** | **зачтено** | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами |
| **хорошо** | | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами. |
| **очень хорошо** | | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. |
| **отлично** | | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. |
| **превосходно** | | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

**Шкала оценки при промежуточной аттестации**

| Оценка | | Уровень подготовки |
|---|---|---|
| зачт | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно» |

| Оценка | | Уровень подготовки |
|---|---|---|
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| незачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

### 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### 5.2.1. Контрольные вопросы

| |
|---|
| 1.Система уравнений гидродинамики идеальной жидкости: уравнение неразрывности, уравнение Эйлера, уравнение состояния. Граничные условия. |
| 2.Тензор плотности потока импульса. Закон сохранения импульса, |
| 3. Парадокс Даламбера - Эйлера. |
| 4. Циркуляционное обтекание цилиндра. Формула Жуковского. |
| 5. Поверхностные явления. Поверхностное давление. Формула Лапласа. |
| 6. Течение Куэтта, течение Пуазейля между двумя пластинками, обтекание сферы медленным течением вязкой жидкости |
| 7. Подобие гидродинамических течений. Число Рейнольдса. Число Фруда. Число Струхаля. |
| 8. Неустойчивость тангенциального разрыва. |
| 9. Распространение звука в движущейся среде. Эффект Доплера. |
| 10. Истечение газа через сопло. Сопло Лаваля. |

**5.2.2** . В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы

1. повторение пройденного на занятиях материала,
2. самостоятельное изучение отдельных вопросов программы,
3. подготовка к практическим занятиям,

Важной формой самостоятельной работы студентов является исследование по теме, подготовка доклада на семинаре.

**Темы для самостоятельной работы студентов**

1. Подобие, моделирование и примеры приложения теории размерности.
2. Применение теории размерности к определению структуры решений уравнения Навье- Стокса. Понятие об автомодельных решениях.
3. Теплопроводность в жидкости.
4. Автомодельные решения уравнений теплопроводности.
5. Волны во вращающейся жидкости.

6. Устойчивость параллельных течений.
7. Уравнения магнитной гидродинамики.
8. Ньютоновские и неньютоновские жидкости.

**5.2.2 Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1**

1.Найти силу $\vec{F}$ , действующую на квадратную стенку аквариума, до краев заполненного водой. На какой высоте H от дна находится точка приложения этой силы?

2. Доказать, что функция

$$\Phi = A(-x^2 - y^2 - 2z^2)$$

удовлетворяет уравнению Лапласа. Найти компоненты скорости

3. Получить выражение для фазовой и групповой скорости гравитационных волн на мелкой воде ( $\lambda >> H$ , где $H$ - глубина канала).

4..Бесконечная пластина, расположенная в плоскости $xy$ и ограничивающая полупространство $z > 0$, заполненное однородной несжимаемой вязкой жидкостью, совершает гармонические колебания:

$$V_x = V_0 \exp\{-i\omega t\};\ V_y = V_z = 0.$$

Получить выражение для скорости частиц жидкости $v = v_x(z)$, определить толщину скин-слоя $\delta$ и плотность вязкой силы, действующей на пластину, $f$ .

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

а) основная литература

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Т. 1, 2. М.:Наука, 1963. (30 экз.) http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/KochinKibelRoze_ch1_1963ru.djvu http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/KochinKibelRoze_ch2_1963ru.djvu

2. Гурбатов С.Н., Грязнова И.Ю., Демин И.Ю., Клемина А.В., Курин В.В., Прончатов-Рубцов Н.В. УМК "Основы механики сплошных сред." Электронный задачник «Основы механики сплошных сред: гидромеханика и акустика» (Электронное методическое пособие № 440.12.04 Фонд электронных изданий ННГУ http://www.unn.ru/books/resources.html) ННГУ. 2012.

б) дополнительная литература

1.Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.VI. Гидродинамика. М.:Наука, 1986. 736 с. (5 экз.)

3. Дразин Ф. Введение в теорию гидродинамической устойчивости / М.: Физматлит. 2005, 288 с. ( 5 экз. )

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Для проведения занятий лекционного типа имеются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО 01.03.03 «Механика и математическое моделирование» (профиль «Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг»).

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики
от 24.02.2021 года, протокол № 5.

Автор(ы) _____ д.ф.-м.н., профессор Новиков В.В.

Рецензент(ы) _____

Заведующий кафедрой теоретической, компьютерной и экспериментальной механики _____ д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.