

**Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет)  
имени И.М. Губкина**

---

**Утверждена проректором по  
научной и международной работе  
проф. А.Ф. Максименко  
14 апреля 2022 года**

**ПРОГРАММА**  
**вступительного испытания по научной специальности**  
**1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы»**  
**для поступающих в аспирантуру РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина**  
**в 2022/2023 уч. году**

**Москва 2022**

## **Введение**

Программа вступительного испытания по научной специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы» разработана на основании требований, установленных паспортом данной специальности.

### **Вопросы к вступительному экзамену**

#### Вводные положения

Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.

Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.

Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.

#### Кинематика сплошных сред

Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты.

Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.

Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.

Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока, критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустановившееся движение среды.

Кинематические свойства вихрей.

#### Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потoki диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.

Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.

Работа внутренних поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение

живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах.

Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Законы теплопроводности Фурье. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.

Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Энтропия и абсолютная температура. Некомпенсированное тепло и производство энтропии. Неравенство диссипации, тождество Гиббса. Диссипативная функция. Основные макроскопические механизмы диссипации. Понятие о принципе Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.

#### Модели жидких и газообразных сред

Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.

Интегралы Бернулли и Коши—Лагранжа. Явление кавитации.

Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей.

Теорема Бьеркнеса.

Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса. Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия. Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости.

Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении. Теория реактивной тяги и теория идеального пропеллера.

#### Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы

Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности.

Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электр

#### Гидростатика

Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда.

Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы.

### Движение идеальной несжимаемой жидкости

Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях. Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости. Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела. Движение сферы в идеальной жидкости.

Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости. Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера.

Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики. Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля. Формулы Чаплыгина и теорема Жуковского. Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой. Нестационарное обтекание профилей.

Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй.

Схемы Кирхгофа, Эффроса и др.

Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам. Формулы Био-Савара. Прямолинейный и кольцевой вихри. Законы распределения давлений, силы, обуславливающие вынужденное движение прямолинейных вихрей в плоском потоке.

Постановка задачи и основные результаты теории крыла конечного размаха.

Несущая линия и несущая поверхность.

Постановка задачи Коши—Пуассона о волнах на поверхности тяжелой несжимаемой жидкости. Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн. Перенос энергии прогрессивными волнами. Теория мелкой воды. Уравнения Буссинеска и Кортвега-де-Вриза. Нелинейные волны. Солитон.

### Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Турбулентность.

Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля.

Течение вязкой жидкости в диффузоре. Диффузия вихря.

Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.

Ламинарный пограничный слой. Задача Блазиуса. Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного

слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя.

Турбулентность. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон. Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности.

Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска. Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе.

Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.

### Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика.

Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука.

Запаздывающие потенциалы. Эффект Доплера. Конус Маха. Уравнения газовой динамики. Характеристики.

Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении.

Элементарная теория сопла Лавалья.

Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Автомодельные движения и классы соответствующих задач. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе.

Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена. Эволюционные и неэволюционные разрывы.

Теория волн детонации и горения. Правило Жуге и его обоснование. Задача о структуре сильного разрыва.

Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.

Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик. Течение Прандтля—Майера. Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса. Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной.

Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения.

Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.

### Электромагнитные явления в жидкостях

Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте.

Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца. Закон сохранения полного заряда. Закон Ома. Среды с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова—Пойнтинга. Джоулево тепло. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.

Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.

### Физическое подобие, моделирование

Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей. П-теорема. Примеры приложений. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

### **Основная литература**

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, II. М.: Физматгиз, 1963.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, II. 5-е изд. М.: Наука, 1994.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 10-е изд. М.: Наука, 1987.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. 3-е изд. М.: Наука, 1986.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 5-е изд. М.: Наука, 1978.
6. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988.
7. Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М.: Физматгиз, 1962.
8. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. изд-во физ.-тех. лит-ры, 1955.
9. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. РХД, 2000.
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.

### **Дополнительная литература**

1. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. 3 -е изд. М.: Наука, 1980.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
3. Механика сплошных сред в задачах. Т. 1, 2 / Г.Я. Галин, А.Н. Голубятников, Я.А. Каменярж и др. М.: Московский лицей, 1996.
4. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Гостоптехиздат, 1963.

5. Липанов А.М., Кисаров Ю.Р., Ключников И.Г. Численный эксперимент в классической гидромеханике турбулентных потоков. Екатеринбург: Изд-во Ур. ОРАН, 2001.
6. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная неустойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972.
7. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.

## **Вопросы к вступительному экзамену в аспирантуру по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»**

### Введение

В основу настоящей программы положены следующие разделы: аналитическая механика и теория колебаний, динамика и устойчивость деформируемых систем, теория упругости, теория пластичности и ползучести, волны в сплошных средах, аэрогидроупругость, механика разрушения, статистические методы и теория надежности, численные методы в механике, экспериментальные методы в механике.

### Теория колебаний и устойчивости движения

Уравнения Лагранжа второго рода для голономных систем. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Диссипативная функция Релея. Функция Гамильтона. Принцип Гамильтона—Остроградского.

Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы. Малые собственные колебания консервативных систем. Формула Релея. Свойства собственных частот и форм колебаний. Главные (нормальные) координаты. Вынужденные колебания линейных систем.

Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Метод функций Ляпунова. Теоремы Ляпунова и Четаева об устойчивости и неустойчивости. Теорема Дирихле. Теоремы Кельвина и Тэта. Устойчивость по первому приближению. Критерий устойчивости по первому приближению. Критерии устойчивости линейных систем. Устойчивость периодических решений. Определение областей неустойчивости. Параметрически возбуждаемые колебания.

Теория нелинейных колебаний. Качественная теория Пуанкаре. Особые точки и их классификация. Типы фазовых траекторий. Методы малого параметра, Крылова–Боголюбова, Ван-дер-Поля, гармонической линеаризации. Автоколебательные системы. Предельные циклы и их устойчивость. Вынужденные и параметрические колебания нелинейных систем.

### Теория упругости

Тензоры напряжений и деформаций. Уравнения равновесия. Определение перемещений по деформациям. Уравнения совместности деформаций. Потенциальная энергия деформации. Закон Гука для изотропного и анизотропного тела.

Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Бельтрами—Митчела.



Уравнения в перемещениях. Постановка основных задач теории упругости. Прямой, обратный и полуобратный методы решения задач теории упругости. Принцип Сен-Венана. Вариационные принципы теории упругости. Принцип Лагранжа. Теорема Клапейрона. Теорема Бетти. Принцип Кастильяно. Вариационные методы решения задач теории упругости (Ритца, Бубнова–Галеркина, Треффца).

Основные задачи теории упругости. Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Функция напряжений. Дифференциальные уравнения и краевые условия для функции напряжений. Методы решения задач теории упругости (с помощью тригонометрических рядов, интегральных преобразований, конечных разностей, конечных и граничных элементов). Применение теории функций комплексного переменного, формулы Колосова—Мусхелишвили. Кручение цилиндрических стержней.

Постановка пространственных и осесимметричных задач термоупругости.

### Теория пластин и оболочек

Допущения классической теории пластин и оболочек и связанная с ними погрешность. Основное уравнение изгиба пластин. Граничные условия. Изгиб пластин, имеющих в плане форму прямоугольника, круга, кругового кольца.

Криволинейные координаты на срединной поверхности оболочки. Уравнения теории упругих оболочек. Внутренние усилия и моменты. Соотношения упругости. Потенциальная энергия деформации. Граничные условия.

Безмоментная теория оболочек. Область применения. Осесимметричный изгиб оболочек вращения. Асимптотическое интегрирование уравнений. Теория цилиндрических оболочек. Интегрирование уравнений в одинарных и двойных рядах. Уравнения теории пологих оболочек и область их применения. Слоистые пластины и оболочки.

### Теория пластичности, ползучести и вязкоупругости

Модели упругопластического тела. Критерии текучести. Поверхность текучести. Ассоциированный закон течения. Теория течения в случае изотропного и анизотропного упрочнения. Деформационная теория. Сравнение теорий пластичности.

Постановка задач в теории упругопластического материала без упрочнения. Остаточные напряжения. Предельное состояние и предельная нагрузка. Определение верхней и нижней границ для предельной нагрузки. Приспособляемость. Простейшие

задачи теории пластичности.

Гипотезы старения, упрочнения и наследственности в теории ползучести. Постановка и методы решения задач теории ползучести. Установившаяся ползучесть при изгибе. Ползучесть вращающихся дисков.

Теория линейной вязкоупругости. Математическое описание вязкоупругих свойств полимеров. Дифференциальная и интегральная формы соотношений между напряжениями и деформациями. Вязкоупругие функции, связь между ними. Постановка и методы решения задач теории вязкоупругости. Вязкоупругая аналогия. Краевые задачи теорий пластичности и ползучести.

### Конструкционная прочность и элементы механики разрушения

Физические основы прочности материалов. Вязкий и хрупкий типы разрушения. Прочность при сложном напряженном состоянии. Усталостное разрушение, его физическая природа. Малоцикловая усталость. Длительная прочность. Статистические аспекты разрушения и масштабный эффект. Влияние концентрации напряжений на прочность.

Теория квазихрупкого разрушения. Напряжения вблизи трещины в упругом теле. Энергетический и силовой подходы в механике разрушения. Условия разрушения тел с трещинами. Условия устойчивости трещин. Критический коэффициент интенсивности напряжений. Учет пластических деформаций в конце трещины. Влияние температуры на сопротивление хрупкому разрушению. Закономерности роста усталостных трещин. Разрушения в условиях ползучести. Понятие о коррозионной усталости и коррозионном растрескивании.

### Динамика упругих систем

Принцип Гамильтона—Остроградского для упругих систем. Уравнения продольных, крутильных и изгибных колебаний упругих стержней. Уравнения колебаний упругих пластин и оболочек.

Свойства собственных форм и частот колебаний упругих систем. Вариационные принципы в теории свободных колебаний. Методы определения собственных частот и форм колебаний упругих систем. Вынужденные колебания упругих систем. Колебания диссипативных систем.

Упругие волны в неограниченной упругой среде. Продольные и поперечные волны. Дисперсионные уравнения. Фазовая и групповая скорости. Поверхностные волны Релея. Волны Лява. Упругопластические волны.

Классификация, постановка задач аэрогидроупругости и методы их решения.

Устойчивость упругих тел в потоке жидкости или газа.

### Динамика машин, приборов и аппаратуры

Усилия, действующие в машинах, и их передача на фундамент. Колебания вращающихся валов с дисками. Влияние различных факторов (податливость опор, форма сечения вала, гироскопические эффекты, сила тяжести, различные виды трения и др.) на критические скорости. Методы снижения виброактивности. Уравновешивание роторных машин. Методы статической и динамической балансировки роторов.

Виброизоляция машин, приборов и аппаратуры. Активные и пассивные системы виброзащиты. Каскадная виброизоляция. Виброакустика машин. Методы виброакустической защиты машин.

Ударные нагрузки. Определение коэффициентов динамичности при ударе. Защита от ударных воздействий.

### Статистическая динамика и теория надежности машин, приборов и аппаратуры

Задачи статистической динамики. Линейные системы и методы их анализа. Прохождение стационарного случайного процесса через стационарную линейную систему. Понятие о нелинейных задачах статистической динамики. Случайные колебания в линейных и нелинейных системах.

Основные понятия теории вибрационной надежности. Функции распределения. Связь между надежностью и долговечностью. Надежность составных систем. Резервирование. Оценки для вероятности редких выбросов и для функции надежности. Правило суммирования повреждений и его применение для оценки показателей надежности и ресурса. Применение теории случайных функций к расчету показателей надежности и долговечности машин, приборов и аппаратуры.

### Вычислительная техника и программирование

Этапы развития вычислительной техники. Поколения ЭВМ. Общие представления об архитектуре ЭВМ. Классификация ЭВМ. Персональные компьютеры.

Программное обеспечение ЭВМ. Операционные системы (Windows 95, Windows 98, Windows 2000). Пакеты прикладных программ для задач символьной

математики (Mathcad, Matlab, Maple).

Понятие об алгоритмах и их программная реализация. Освоение одного конкретного алгоритмического языка (Фортран, Си, Паскаль, Бейсик и др.) в зависимости от имеющихся вычислительных средств и программного обеспечения.

Пакеты прикладных программ для задач динамики деформируемых тел (Nastran, Cosmos, Ansis).

### Численные методы в динамике и прочности машин и конструкций

Роль компьютерных технологий в расчетах и исследованиях динамики и прочности. Требования, предъявляемые к алгоритмам и программам. Понятие о проблемах автоматизированного проектирования и компьютерного моделирования. Численные методы решения задач динамики и прочности. Разностные методы. Численная реализация вариационных методов. Метод конечных элементов. Метод граничных элементов. Интегрирование уравнений динамики на ЭВМ. Вычислительный эксперимент в задачах динамики и прочности. Статистическое моделирование на ЭВМ как средство оценки показателей надежности и ресурса. Применение компьютеров для решения оптимизационных задач.

### Экспериментальные методы исследований динамики и прочности

Определение механических свойств материалов. Назначение и основные типы механических испытаний. Испытательные машины, установки и стенды.

Методы анализа напряженно-деформированных состояний. Метод тензометрии. Поляризационно-оптический метод. Применение фотоупругих и лаковых тензочувствительных покрытий. Оптическая и голографическая интерферометрия.

Виброметрические измерения. Типы измерительных устройств и датчиков для измерения динамических процессов. Обработка результатов вибрационных и динамических испытаний. Спектральный анализ виброграмм.

Термометрия. Электрические, оптические и тепловизионные измерения тепловых полей.

Диагностика и дефектоскопия материалов и деталей. Оптические, ультразвуковые, рентгеновские и тепловые методы технической диагностики и дефектоскопии.

### **Основная литература**

1. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. М.: Высш.школа, 1972.

2. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. М.:Физматлит, 1961.
3. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.:Машиностроение, 1984.
4. Вибрации в технике: Справочник. В 6 т. М.: Машиностроение, 1999.
5. Горшков А.Г., Рабинский Л.Н., Тарлаковский Д.В. Основы тензорного анализа и механика сплошной среды. М.: Наука, 2000.
6. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. М.: Машиностроение, 1985.
7. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. Л.: Судостроение, 1962.
8. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. М.:Наука. Физматлит, 1981.
9. Пестриков В.Н., Морозов Е.Н. Механика разрушения твердых тел: Курслекций. СПб.: Профессия, 2001.
10. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979.

#### **Дополнительная литература**

1. Дьяконов В.П., Абрамова И.В. Mathcad 8.0 в математике, физике и вInternetе. М.: Нолидж, 1999.
2. Дьяконов В.П. Matlab 5.0 – 5.3 – система символьной математики. М.:Нолидж, 1999.
3. Дьяконов В.П. Математическая система Maple V – R3/4/5. М.: Солон, 1998.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ, 1999.