

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«АЛЬМЕТЬЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе АГНИ  
Д.С. Реченко  
« 11 » 04 2022г.



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
по специальной дисциплине**

для поступающих на обучение  
по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в  
аспирантуре по научной специальности

2.8.6 Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная  
аэрогазодинамика и горная теплофизика

Программу вступительного испытания разработал(и):

Д.т.н., профессор  
Должность, степень, звание

  
\_\_\_\_\_  
Подпись

М.М. Алиев  
(ФИО)

К.т.н., доцент  
Должность, степень, звание

  
\_\_\_\_\_  
Подпись

З.Ф. Исмагилова  
(ФИО)

Программа вступительного испытания по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТХНГ « 8 » 04 2022г. протокол № 8 .

Зав. кафедрой ТХНГ

  
\_\_\_\_\_

М.М. Алиев

## **1. Введение**

Настоящая программа предназначена для поступающих в аспирантуру по научной специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Данная программа разработана на основании федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования магистратуры и государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования специалиста.

## **2. Цель и задачи вступительного испытания**

Вступительное испытание проводится для определения уровня практической и теоретической подготовки магистров (специалистов) с целью определения соответствия компетенций, знаний, умений и навыков претендентов требованиям освоения программы аспирантуры по научной специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Основные задачи вступительного испытания:

- проверить уровень знаний претендента;
- определить склонность к научно-исследовательской деятельности;
- выяснить мотивацию магистра (специалиста) к поступлению в аспирантуру;
- определить уровень научных интересов;
- определить уровень научно-технической эрудиции претендента.

## **3. Шкала оценивания и минимальное количество баллов**

При приеме на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре результаты вступительного испытания по специальной дисциплине, проводимого институтом самостоятельно, оцениваются по 100-балльной шкале.

Вступительное испытание может проводиться как в устной, так и в письменной форме с сочетанием указанных форм или в иных формах (по билетам, в форме собеседования).

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания - 50. Результат вступительного испытания в баллах фиксируется в протоколе и должен быть целым числом.

В ходе сдачи вступительного испытания поступающий отвечает на 3 теоретических вопроса

100 бальная шкала	Критерии оценки
0 - 20 баллов	Абитуриент не ответил на основной вопрос. В ходе проведения вступительного испытания не ответил на уточняющие и дополнительные вопросы.
21 - 49 балла	Абитуриент не владеет основными понятиями, либо допускает серьезные ошибки в терминологии, допускает неверное толкование проблем. Ответ далек от поставленного вопроса, плохо аргументирован, отсутствует фактический материал. Слабая общая эрудиция абитуриента.
50 - 59 баллов	Допущены ошибки в терминологии, показаны общие знания в рамках заданного вопроса, отсутствует либо имеет ошибки фактический материал, ответ слабо аргументирован. В ходе вступительного испытания абитуриент не ответил на дополнительные и уточняющие вопросы.
60 - 69 баллов	Абитуриент владеет знанием общей терминологии. Неполно раскрыта проблематика вопроса. Слабая общая эрудиция абитуриента. В ходе вступительного испытания абитуриент не ответил на дополнительные и уточняющие вопросы. Абитуриентом показаны знания фундаментальных понятий, принципов и основ.
70 – 84 балла	Допущены незначительные ошибки в терминологии и при использовании фактического материала. Ответ на вопрос аргументирован и обоснован, но имеет неточности; не приведены примеры, либо примеры не полностью соответствуют теме вопроса. В ходе вступительного испытания абитуриент ответил на дополнительные и уточняющие вопросы. Абитуриентом показаны знания фундаментальных понятий, принципов и основ. Общая хорошая эрудиция абитуриента. Показаны общие знания методик, методов и оборудования для их осуществления в рамках программы вступительного испытания. Показаны общие знания проблем решаемых в рамках области знаний специальной дисциплины.
85 - 100 баллов	Отличное и хорошее владение понятиями и терминологией, умелое использование фактического материала. Абитуриентом показаны знания фундаментальных понятий, принципов и основ. Ответ на вопрос аргументирован и обоснован, приведены убедительные примеры. В ходе вступительного испытания абитуриент ответил на дополнительные и уточняющие вопросы. Общая хорошая эрудиция абитуриента. Показаны хорошие знания методик, методов и оборудования для их осуществления в рамках программы вступительного испытания. Показаны хорошие знания современных направлений развития в области специальной дисциплины. Знание современных методов обработки, систематизации и интерпретации знаний в области специальной дисциплины. Показано представление о фундаментальных работах и публикациях периодической печати в избранной области. Абитуриентом показаны навыки владения исследовательским аппаратом применительно к области специализации и сфере деятельности.

**Ответ на вопрос считается полным**, если его содержание полностью соответствует программе, содержит все необходимые теоретические факты и обоснованные выводы, сопровождается поясняющими примерами. В ответе показано понимание основных положений, составляющих основу по теме вопроса, изложение построено логически правильно, стилистически грамотно, с точным использованием терминологии предметной области. Поступающий демонстрирует свободное оперирование учебным материалом различной степени сложности с использованием сведений из других областей. В ответе отражено умение применять теоретические положения при выполнении практических задач.

При оценке знаний поступающих учитываются грубые ошибки, ошибки и недочеты.

**Грубыми ошибками** являются:

- незнание определений и сущности основных понятий предметной области, формулировок утверждений, схем и формул, предусмотренных программой вступительного испытания;

- не владение умениями и навыками, предусмотренными программой;

- неумение формализовать постановку задачи, выбрать правильный метод и алгоритм ее решения;

- неумение применять типовые методы в простейших прикладных ситуациях.

**Ошибками** следует считать:

- неточности определений понятий предметной области, формулировок утверждений, формул;

- недостаточная обоснованность при доказательстве фундаментальных понятий;

- не владение одним из умений и навыков, предусмотренных программой, но не относящихся к грубым ошибкам.

**Недочетами** являются:

- нелогичное и непоследовательное изложение материала;

- неточности в использовании терминологии предметной области;

- отсутствие обоснований при применении теоретических положений для выполнения практических задач.

#### **4. Содержание программы вступительного испытания**

**Методы Лагранжа и Эйлера описания движения сплошной среды и связь между ними.** В механике сплошной среды аналогичная процедура называется описанием Лагранжа. В эйлеровом описании физические величины задаются полями, т.е. определены в каждой точке рассматриваемой области пространства в каждый момент времени.

**Неравенство Коши.** Это неравенство эквивалентно неравенству треугольника для нормы. Основные определения. Способы доказательства данного неравенства.

**Теорема о взаимности касательных напряжений.** Формулировка закона парности касательных напряжений: касательные напряжения на любых двух взаимно перпендикулярных площадках, направленные по перпендикуляру к линии пересечения площадок, равны по величине, притом касательные напряжения либо сходятся к линии

пересечения площадок, либо расходятся от нее.

**Тензор напряжения, деформации, шаровой тензор, девиатор напряжения.** Тензор напряжения - тензор второго ранга описывает механические напряжения в произвольной точке нагруженного тела, возникающих в этой точке при его (тела) малых деформациях.

В некоторых источниках этот тензор деформации называют тензором деформации Грина-Лагранжа, а правую меру деформации Коши-Грина (удвоенный обсуждаемый тензор деформации плюс единичный тензор) — правым тензором деформации Коши-Грина.

Нелинейный тензор деформации Коши-Грина обладает свойством материальной объективности. Это означает, что если кусок деформируемого тела совершает жесткое движение, тензор деформации поворачивается вместе с элементарным объёмом материала. Удобно использовать такие тензоры при записи определяющих уравнений материала, тогда принцип материальной объективности выполняется автоматически, то есть если наблюдатель двигается относительно деформируемой среды, поведение материала не меняется (тензор напряжений поворачивается в системе отсчёта наблюдателя вместе с элементарным объёмом материала).

Существуют также другие объективные тензоры деформации, например, тензор деформации Альманси, тензоры деформации Пиола, Фингера и т. д. В некоторые из них входят производные от перемещений по координатам в отсчётной конфигурации (до деформирования), а в некоторые — по координатам в актуальной конфигурации (после деформирования).

То, что в классической сплошной среде энергия деформации зависит лишь от симметричного тензора деформации, следует из закона баланса моментов. Любая взаимно-однозначная функция объективного тензора деформации будет также объективным тензором деформации. Например (в силу симметричности и положительной определенности тензора деформации) можно использовать квадратный корень из тензора деформации Коши-Грина. Однако, задавая определяющие уравнения при помощи этих тензоров, важно следить за предположениями о характере зависимости свободной энергии (или напряжений) от тензоров деформации.

**Закон Гука и его обобщение.** Следует иметь в виду, что закон Гука выполняется только при малых деформациях. При превышении предела пропорциональности связь между напряжениями и деформациями становится нелинейной. Для многих сред закон Гука неприменим даже при малых деформациях.

**Скорости деформации.** Скорость перемещения рабочего органа машины. Изменение степени деформации в единицу времени. С увеличением скорости деформации сопротивление металла деформированию возрастает, а пластичность уменьшается.

Упругая деформация — деформация, исчезающая после прекращения действий внешних сил. Деформация - пластическая, если после снятия нагрузки она не исчезает.

Абсолютная деформация выражает абсолютное изменение какого-либо линейного или углового размера, площади сечения или участка граничной поверхности элемента, выделенного в деформируемом теле, или всего тела.

Относительная деформация характеризует относительное изменение тех же величин. Обычно относительную деформацию определяют как отношение абсолютного изменения какого-либо размера к его первоначальному значению.

Истинная деформация – отношение бесконечно малых приращений размера к соответствующему исходному размеру в рассматриваемый момент деформации.

**Плотность сплошной среды.** Часто и успешно используемая в физике сплошных сред модель для более-менее однородных систем с очень большим числом частиц (то есть степеней свободы).

Механическая система, обладающая бесконечным числом внутренних степеней свободы. Её движение в пространстве, в отличие от других механических систем, описывается не координатами и скоростями отдельных частиц, а скалярным полем плотности и векторным полем скоростей. В зависимости от задач, к этим полям могут добавляться поля других физических величин (концентрация, температура, поляризованность и др.)

Если плотность сплошной среды постулируется равной константе, то такая сплошная среда называется несжимаемой.

Сплошная среда — часто и успешно используемая в физике сплошных сред модель для более-менее однородных систем с очень большим числом частиц (то есть степеней свободы). Так, теория упругости, гидро- и аэродинамика, физика плазмы формулируются именно для сплошной среды.

**Массовые и поверхностные силы.** Поскольку жидкость обладает свойством текучести и легко деформируется под действием минимальных сил, то в жидкости не могут действовать сосредоточенные силы, а возможно существование лишь сил распределённых по объёму (массе) или по поверхности. В связи с этим действующие на жидкости распределённые силы являются по отношению к жидкости внешними. По характеру действия силы можно разделить на две категории: массовые силы и поверхностные.

**Вектор напряжений в сплошной среде.** Принцип напряжения Коши. Безмоментные теории механики сплошной среды. Моменты теорий механики сплошной среды. Результирующие векторы. Тензоры напряжений.

**Касательные и нормальные напряжения.** Численная мера распределения внутренних сил по плоскости поперечного сечения. Его используют при исследовании и определении внутренних сил любой конструкции. Считается, что определенный материал в определенных условиях может выдержать определенный уровень напряжений. Таким образом, определив разрушающие напряжения при лабораторном испытании материала, можно прогнозировать прочность этого материала в любом другом элементе.

**Уравнение неразрывности.** Движения жидкости представляет собой закон сохранения массы изолированной системы. Дивергенция вектора скорости. Фундаментальное уравнение гидродинамики. Уравнение элементарной струйки невязкой жидкости.

**Уравнения движения сплошной среды в напряжениях.** Какие силы называются массовыми? Приведите примеры. Что Вы понимаете под напряжением поверхностных сил? Чему равно напряжение силы тяжести? Какие силы называются поверхностными? Приведите примеры. Какими напряжениями характеризуются поверхностные силы? Сформулируйте первое свойство напряжений поверхностных сил. Сформулируйте второе свойство напряжений поверхностных сил. Сформулируйте третье свойство напряжений поверхностных сил. В каких случаях в жидкости не действуют касательные напряжения? Что такое давление? Выведите уравнение движения жидкости в напряжениях.

**Теорема об изменении кинетической энергии.** Интегральная (конечная) форма. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки: изменение кинетической энергии материальной точки на некотором ее перемещении равно алгебраической сумме работ всех действующих на эту точку сил на том же перемещении.

**Определяющие уравнения в механике жидкости и теории упругости.** При упругой деформации используется принцип независимости действия сил. Рассмотрим отдельные

виды деформации и сложим результаты их действия. Рассмотрим сдвиг в плоскости. Общий случай нагружения тела.

**Реологические уравнения.** Уравнениями состояния или реологическими уравнениями называют уравнения связывающие тензор напряжений и тензор скоростей деформаций, т.е. В том случае, если связь между этими тензорами линейна, то говорят, что жидкость является ньютоновской.

Если ньютоновская жидкость помещена между двумя параллельными, бесконечными пластинами и одна из пластин движется с постоянной скоростью, то после достижения установившегося течения, сила на единице площади, приводящая в движение пластину, пропорциональна скорости движения пластины и обратно пропорциональна расстоянию между пластинами.

**Виды напряженного состояния.** В окрестности любой точки деформированного твердого тела всегда можно выделить элементарный параллелепипед, ориентированный в пространстве таким образом, что по его граням будут возникать только нормальные напряжения.

В зависимости от того, испытывает параллелепипед «растяжение» («сжатие») в одном, в двух или в трех направлениях, различают виды напряженного состояния:

- линейное (одноосное) напряженное состояние,
- плоское (двухосное) напряженное состояние,
- объемное (трехосное) напряженное состояние.

**Закон трения Ньютона.** Вязкостью называется способность жидкости оказывать сопротивление сдвигающим усилиям. Это свойство жидкости проявляется лишь при ее движении. Допустим, что некоторое количество жидкости заключено между двумя плоскими неограниченными параллельными пластинами расстояние между ними, скорость движения верхней пластины относительно нижней. Опыт показывает, что слой жидкости, непосредственно прилегающий к стенке, прилипает к ней. Отсюда следует, что скорость движения жидкости, прилегающей к нижней стенке, равна нулю. Таким образом, существует разность скоростей между соседними слоями, и возникает взаимное скольжение слоев, которое приводит к проявлению силы внутреннего трения.

Чтобы перемещать одну пластину относительно другой, необходимо приложить к движущейся пластине некоторую силу, равную силе сопротивления жидкости в результате внутреннего трения.

**Напряженное и деформированное состояние.** Рассматривают бесконечно малый параллелепипед (кубик). На его гранях могут быть нормальные и касательные напряжения. При изменении положения "кубика" напряжения меняются. Можно найти такое положение, при котором нет касательных напряжений. Площадки, по которым не действуют касательные напряжения, называются главными площадками, а нормальные напряжения на этих площадках — главными напряжениями. Нормальное напряжение положительно, если оно растягивающее, касательное напряжение положительно, если оно стремится повернуть рассматриваемую часть элемента относительно внутренней точки по час. стр (для касательного напряжения в некоторых учебниках и вузах принято обратное). В теории напряженного состояния различают две основные задачи.

**Массовые и поверхностные силы.** Поскольку жидкость обладает свойством текучести и легко деформируется под действием минимальных сил, то в жидкости не могут действовать сосредоточенные силы, а возможно существование лишь сил распределённых по объёму (массе) или по поверхности. В связи с этим действующие на жидкости

распределённые силы являются по отношению к жидкости внешними. По характеру действия силы можно разделить на две категории: массовые силы и поверхностные.

Массовые силы пропорциональны массе тела и действуют на каждую жидкую часть этой жидкости. К категории массовых сил относятся силы тяжести и силы инерции переносного движения. Величина массовых сил, отнесённая к единице массы жидкости, носит название единичной массовой силы. Таким образом, в данном случае понятие о единичной массовой силе совпадает с определением ускорения. Поверхностные силы равномерно распределены по поверхности и пропорциональны площади этой поверхности. Эти силы, действуют со стороны соседних объёмов жидкой среды, твёрдых тел или газовой среды. В общем случае поверхностные силы имеют две составляющие нормальную и тангенциальную. Единичная поверхностная сила называется напряжением.

**Определение жидкости и упругого тела.** Жидкость - физическое тело, которое обладает свойством текучести, т. е. не имеющее способности самостоятельно сохранять свою форму. Текучесть жидкости обусловлена подвижностью молекул, составляющих жидкость.

Идеальная жидкость - жидкость, между частицами которой отсутствуют силы внутреннего трения. Вследствие этого такая жидкость не сопротивляется касательным силам сдвига и силам растяжения. Идеальная жидкость совершенно не сжимается, она оказывает бесконечно большое сопротивление силам сжатия. Такой жидкости в природе не существует - это научная абстракция, необходимая для упрощения анализа общих законов механики применительно к жидким телам.

Реальная жидкость - жидкость, которая не обладает в совершенстве свойствами идеальной жидкости, она в некоторой степени сопротивляется касательным и растягивающим усилиям, а также отчасти сжимается. Для решения многих задач гидравлики этим отличием в свойствах идеальной и реальной жидкостей можно пренебречь. В связи с этим физические законы, выведенные для идеальной жидкости, могут быть применены к жидкостям реальным с соответствующими поправками.

**Неньютоновские жидкости.** Ньютоновская жидкость представляет собой жидкость, имеющую постоянную вязкость и нулевую скорость сдвига при нулевом напряжении сдвига. Это значит что скорость сдвига такой жидкости прямо пропорциональна напряжению сдвига. Другими словами, отношение напряжения сдвига к скорости сдвига является постоянным во всей жидкости.

Однако большинство известных нам жидкостей имеют переменную вязкость. Обычно реальные жидкости не соответствуют этому определению. Поэтому он рассматривается как простая математическая модель. Но мы можем принять некоторые распространенные жидкости, такие как вода, как ньютоновские жидкости

**Законы Гука и Навье-Стокса.** Система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение вязкой ньютоновской жидкости. Уравнения Навье — Стокса являются одними из важнейших в гидродинамике и применяются в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач. Названы по имени французского физика Анри Навье и британского математика Джорджа Стокса.

При превышении числа Рейнольдса некоторой критической величины аналитическое точное решение для пространственного или плоского потока даёт хаотический вид течения (так называемая турбулентность). В частном случае оно связано с теорией Фейгенбаума или другими сценариями перехода к хаосу. При уменьшении числа Рейнольдса ниже критического решение опять даёт нехаотический вид течения.

Исключительная чувствительность к изменению коэффициентов уравнения при турбулентном режиме: при изменении числа  $Re$  на 0,05 % решения совершенно отличаются друг от друга.

**Полная система уравнений движения идеальной жидкости и газа.** Уравнения течения идеальной жидкости включают в себя три скалярных уравнения Эйлера и одно уравнение несжимаемости. Всего четыре уравнения, а искомым функций пять: три компоненты вектора скорости, давление и плотность. Нужно ещё одно соотношение, которое позволит замкнуть систему уравнений.

В это соотношение должны входить величины, характеризующие конкретную жидкость. Таким соотношением в теории идеальной сжимаемой жидкости (газа) во многих случаях является зависимость между давлением и плотностью, которое называется условием баротропии

**Интеграл Бернулли.** Устанавливает зависимость между скоростью стационарного потока жидкости и её давлением. Согласно этому закону, если вдоль линии тока давление жидкости возрастает, то скорость течения убывает, и наоборот. Количественное выражение закона в виде интеграла Бернулли является результатом интегрирования уравнений гидродинамики идеальной жидкости (то есть без вязкости и теплопроводности).

**Потенциальное течение идеальной несжимаемой жидкости.** Моделью идеальной жидкости пользуются при теоретическом рассмотрении задач, в которых вязкость не является определяющим фактором и ею можно пренебречь. В частности, такая идеализация допустима во многих случаях течения, рассматриваемых гидроаэромеханикой, и дает хорошее описание реальных течений жидкостей и газов на достаточном удалении от омываемых твердых поверхностей и поверхностей раздела с неподвижной средой. Математическое описание течений идеальных жидкостей позволяет найти теоретическое решение ряда задач о движении жидкостей и газов в канатах различной формы, при истечении струй и при обтекании тел. С учетом граничных условий на твердых стенках и на свободной поверхности - условий безотрывности обтекания твердых стенок и условия постоянства давления на свободной поверхности жидкости.

**Простейшие виды потенциальных течений жидкости.** Характеристикой типа потока является число Рейнольдса (Reynolds number): отношение произведения величины линейной скорости  $v$  потока и линейного размера  $L$  сосуда к кинематической вязкости  $\nu$ :

При достижении критического числа Рейнольдса течение в трубке постоянного сечения становится неустойчивым. При наличии такой неустойчивости, ламинарное течение переходит в турбулентное. В расширяющихся трубках при высоких числах Рейнольдса может возникнуть отрыв потока. Ниже по потоку, где сечение постоянно, развитое течение восстанавливается, но при этом образуются застойные зоны с замкнутыми траекториями потока и вторичные течения.

При установившемся движении линии тока совпадают с траекториями частиц жидкости. При неустановившемся движении они не совпадают, и каждая частица жидкости лишь один момент времени находится на линии тока, которая сама существует лишь в это мгновение. В следующий момент возникают другие линии тока, на которых будут располагаться другие частицы. Еще через мгновение картина опять меняется.

**Уравнение Навье-Стокса для несжимаемой вязкой жидкости.** Система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение вязкой ньютоновской жидкости. Уравнения Навье — Стокса являются одними из важнейших в гидродинамике и применяются в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач. Названы по имени французского физика Анри Навье и британского математика Джорджа Стокса.

В случае несжимаемой жидкости система состоит из двух уравнений:

- уравнения движения,
- уравнения неразрывности.

В гидродинамике обычно уравнением Навье — Стокса называют только одно векторное уравнение движения. Впервые уравнение Навье — Стокса было получено Навье и Пуассоном которые исходили из модельных представлений о молекулярных силах. Позже феноменологический вывод уравнения был дан Сен-Венаном и Стоксом.

**Уравнение механики сплошных сред.** Один из фундаментальных законов ньютоновской механики материальных тел — это закон сохранения массы  $m$  любого индивидуального объема, т. е. объема, состоящего из одних и тех же частиц среды. Сохранение массы. Уравнение неразрывности. Теорема об изменении количества движения. Уравнения движения. Уравнения равновесия. Теорема об изменении момента количества движения.

**Колебание упругого стержня.** Деформируемые твердые тела в отличие от абсолютно твердых тел, рассматриваемых теоретической механикой, могут изменять свою форму под действием приложенных к ним сил. Упругими называются такие деформируемые тела, которые после снятия приложенной нагрузки принимают свою первоначальную форму.

Определить перемещения и напряжения в упругом твердом теле, возникающие под действием заданных внешних сил, можно с помощью уравнений теории упругости. Если тело находится в равновесии, то для решения этой задачи можно использовать статические уравнения теории упругости. При исследовании движения тела решаются динамические уравнения, которые получаются путем добавления инерционных членов к уравнениям статики. Динамические уравнения теории упругости позволяют описать движение и, в частности, колебания любого упругого тела, однако их решение, как правило, является трудной задачей. Во многих конструкциях встречаются тела (стержни, пластины, оболочки) некоторые размеры которых малы по сравнению с другими их размерами.

**Плоская задача упругого равновесия.** Плоская задача включает в себя плоскую деформацию и обобщенное плоское напряженное состояние. Плоская деформация представляет собой такое напряженно-деформированное состояние, когда все перемещения точек тела происходят параллельно одной плоскости.

Такое состояние испытывают призматические или цилиндрические тела, высота которых (длина тела) существенно превышает размеры основания. Нагрузка при этом приложена только на гранях параллельно основаниям и не меняется вдоль высоты (длины) тела. Обобщенное плоское напряженное состояние характеризуется отсутствием нормальных напряжений на площадках, параллельных одной из координатных плоскостей.

Такое напряженное состояние появляется в тонких пластинках, нагрузка к которым приложена только на боковой поверхности силами, параллельными основаниям и равномерно распределенными по толщине пластинки. Кстати, пластинку можно рассматривать как призматическое тело, высота которого (толщина пластинки) мала по сравнению с размерами основания. В таком случае при одинаковых условиях загрузки призматических тел (только на боковых поверхностях нагрузкой, параллельной основаниям и не меняющейся вдоль высоты тела) для тел с высотой, значительно превышающей размеры основания, имеем плоскую деформацию, а для тел с высотой, значительно меньшей размеров основания, имеем плоское напряженное состояние.

**Растяжение призматического бруса под действием собственного веса.** Если ось бруса вертикальна, то собственный вес вызывает деформацию растяжения или сжатия. Рассмотрим брус постоянного сечения весом  $G$ , длиной  $L$ , закрепленный верхним концом и нагруженный только собственным весом. Нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса постоянного сечения, растягиваемого лишь собственным весом, прямо пропорциональны расстоянию сечения от нижнего конца и не зависят от площади сечения. Эпюра распределения нормальных напряжений вдоль оси бруса представляет собой треугольник. Определим длину бруса постоянного сечения, при которой напряжение только от

собственного веса достигает допустимого и брус не может нести полезной нагрузки. Такая длина бруса называется предельной.

**Задание движения сплошной среды.** В кинематике используется только одно свойство, общее для всех жидкостей и газов и присущее всякой сплошной среде; это – непрерывность распределение кинематических элементов в пространстве и дифференцируемость их в пространстве и времени; всё, что мы изучаем в этой главе, применимо для любой сплошной среды.

В теоретической механике мы изучали механику или отдельной материальной точки или системы материальных точек. Механика сплошной среды имеет свои специфические для неё приёмы задания движения.

Другой метод описания движения сплошной среды, предложен и соответственно называемый методом Эйлера, заключается в выражении скоростей частиц среды в функции от времени, и координат точек пространства, по отношению к которому происходит Движение жидкости, т. е. задание поля скоростей. Совокупность называют переменными Эйлера, Движение среды, по Эйлеру, задаётся полем скоростей.

**Поле скоростей. Линии тока и траектории.** При движении жидкости можно проследить, что происходит с течением времени в каждой ее точке, т.е. можно указать величину и направление скорости движения различных частиц жидкости, которые в разные моменты времени проходят через одну и ту же точку пространства. При фиксированном времени в пространстве возникает мгновенная картина распределения скоростей жидкости - поле скоростей.

Линией тока называется линия, касательная к каждой точке которой совпадает по направлению с вектором скорости в данный момент времени.

Методу Лагранжа отвечает понятие траекторий частиц. Траектория представляет собой линию, изображающую путь, пройденный в пространстве частицей за некоторый отрезок времени.

Методу Эйлера соответствует понятие линий тока жидкости. Рассмотрим в момент времени  $t$  поле скоростей потока жидкости. Общую картину течения можно получить, если провести в потоке движущейся жидкости линии, совпадающие с направлением вектора скорости.

Семейство линий тока дает картину течения в данный момент времени, можно сказать, моментальный снимок направлений скоростей потока.

Через каждую точку пространства может проходить множество траекторий частиц, они могут пересекаться и пересекать сами себя.

Линии тока не пересекаются ни сами с собой, ни с другими линиями тока, так как вектор скорости в одной точке пространства не может иметь два разных значения в данный момент времени.

**Трубка тока и струя.** Математическое описание такого движения связано с большими трудностями, поэтому в гидравлике част прибегают к тем или иным моделям течения жидкости, позволяющим аналитически упростить процессы движения и с тем или иным приближениям разобраться в физике реального процесса, получить математические формулы по которым можно рассчитать параметры этих процессов. Одной из таких моделей является струйчатая модель течения жидкости, когда поток жидкости представляется как совокупность элементарных струек, плотно пригнанные друг к другу. Элементами такой модели являются линии тока, трубки тока, элементарные струйки.

Линия тока — это линия, проведенная через такие частицы жидкости, скорость которых касательна к этой линии.

Элементарной струйкой называется течение жидкости внутри трубки тока.

Элементарная струйка обладает двумя важными свойствами.

1. Частицы жидкости не могут покинуть струйку и попасть внутрь струйки извне в результате свойства линий тока, образующих ее поверхность.

2. Так как площадка (ко является элементарной, то в всех точках сечения струйки величины считаются одинаковыми, но вдоль струйки в общем случае их величин изменяются.

Другой моделью течения иногда выбирается модель течения идеальной жидкости. Под идеальной понимается несжимаемая жидкость, в которой отсутствует свойство вязкости. Такая модель позволяет, не обращая внимания на силы трения, действующие в жидкости, выделить влияния других сил, изучить интересующие закономерности в гидравлических процессах, а затем, если требуется, тем или иным способом учесть влияние реальных свойств жидкости.

**Теорема Гельмгольца.** С теоремой Гельмгольца тесно связана задача о восстановлении векторного поля по дивергенции и ротору, которую иногда называют задачей Гельмгольца. Необходимые условия существования решения. Достаточные условия существования и единственности решения. Разложение векторного поля на сумму безвихревого поля и соленоидального поля. Восстановление вектор-функции по ротору и дивергенции. Альтернативная формулировка теоремы Гельмгольца.

Построенное представление векторного поля в виде суммы двух полей не является единственным. Существуют векторные поля, которые одновременно являются и безвихревыми (ротатор равен нулю), и соленоидальными (дивергенция равна нулю). Эти поля — градиенты скалярных функций, удовлетворяющих уравнению Лапласа (и только они). Прибавляя любое такое поле к первому слагаемому и вычитая его из второго слагаемого, получим новое разбиение векторного поля на сумму безвихревого и соленоидального поля.

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Кашников Ю.В. Механика горных пород при разработке месторождений угле-водородного сырья/Кашников Ю.В. , С.Г. Ашихмин -Москва: ООО 'Недра-Бизнесцентр', 2007. -467 с.
2. Кириченко, Ю. В. Геомеханика. Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. В. Кириченко, В. В. Ческидов, С. А. Пуневский. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2017. — 90 с. — 978-5-906846-37-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71670.html>
3. Певзнер М.Е. Геомеханика [Электронный ресурс]: учебник/ Певзнер М.Е., Ио-фис М.А., Попов В.Н.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2008.— 437 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6697>.— ЭБС «IPRbooks»
4. Геомеханика. Том 2. Геомеханические процессы [Электронный ресурс]: учеб-ник/ И.В. Баклашов [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004.— 259 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6642>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Бабаев М.А. Гидравлика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Бабаев М.А.- Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 191 с.-Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8192>.— ЭБС «IPRbooks».
6. Гусев В.П. Основы гидравлики [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Гусев В.П., Гусева Ж.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2012.— 222 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55200>.— ЭБС «IPRbooks».
7. Крестин Е.А. Примеры решения задач по гидравлике [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Крестин Е.А.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 203 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20449>.— ЭБС «IPRbooks».

### Дополнительная литература

1. Желтов Ю.П. Механика нефтегазоносного пласта. – М.: Недра, 1975. – 207 с.
2. Юшков А.С. Кернометрия. – М.: Недра, 1989. – 224 с.
3. Алиев М.М., А.А. Лутфуллин, Исмагилова З.Ф. Учебное пособие по курсу «Нефтегазовая геомеханика» для магистрантов 21.04.01 – Нефтегазовое дело, 2020.
4. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления.-М.: Недра, 1982-224 с.
5. Астрахан И.М. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтегазовых ВУЗов/ И.М. Астрахан и др. – М.: Грифон, 2007.-304 с.
6. Басниев К.С., Нефтегазовая гидромеханика: Учебник для вузов/ Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д.–Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003- 480 стр.

7. Белевич М.Ю. Гидромеханика. Основы классической теории [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Белевич М.Ю.- Электрон. текстовые данные.- СПб.: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2007.— 213 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17911>.— ЭБС «IPRbooks».

8. Гидравлика (Основы статики и динамики жидкости, Прикладная механика жидкости и газа) [Электронный ресурс]: задачник/ — Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2008.— 227 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/21761>.— ЭБС «IPRbooks».

9. Лурье М.В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2003. -349 с.

10. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах: Учебное пособие/ Ю.Д. Земенков [и др.]. – СПб.: Недра, 2004. – 544 с.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование</b>	<b>Адрес в Интернете</b>
1.	Единое окно доступа к информационным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
2.	Российская государственная библиотека	<a href="https://www.rsl.ru/">https://www.rsl.ru/</a>
3.	Электронная библиотека Elibrary	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
4.	Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://iprbookshop.ru">http://iprbookshop.ru</a>
5.	Электронная библиотека АГНИ	<a href="http://elibrary.agni-rt.ru">http://elibrary.agni-rt.ru</a>
6.	Инновационно-аналитический портал «Нефть России»	<a href="https://neftrossii.ru/">https://neftrossii.ru/</a>
7.	Научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство»	<a href="http://www.oil-industry.ru">http://www.oil-industry.ru</a>
8.	Национальный отраслевой журнал «Нефтегазовая Вертикаль»	<a href="http://www.ngv.ru/">http://www.ngv.ru/</a>