МЕХАНИКА СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

проф. Г. Л. Бровко

0,75 года, 3 курс (отделение механики), 2 семестр

1. Основы общей классификации сплошных сред.

1.1. Простые материалы: реакции по отношению к разным системам отсчета и разным отсчетным конфигурациям. Определяющие соотношения в формах Нолла, Ильюшина и Труделла. Естественная отсчетная конфигурация.

1.2. Материальный изоморфизм. Единообразные и однородные тела. Равноправные отсчетные конфигурации материальной частицы. Группа равноправности отсчетной конфигурации, унимодулярность группы. Изоморфизм групп равноправности разных отсчетных конфигураций. Эгалитарные материалы.

1.3. Изотропные материалы. Определение, неискаженная отсчетная конфигурация. Определяющие соотношения изотропных материалов в формах Нолла, Ильюшина и Трусделла (основная теорема об изотропных материалах).

1.4. Твердые тела: определение и примеры. Различные неискаженные конфигурации твердого тела и их группы равноправности. Теорема об изотропных твердых телах, конформность связи неискаженных отсчетных конфигураций.

1.5. Жидкости: определение и следствия (изотропия свойств, неискаженность любой отсчетной конфигурации). Теорема о жидкостях. Поведение в состоянии покоя, память.

2. Элементы термомеханики.

2.1. Теорема живых сил. Пренебрежение работой внутренних массовых сил и аддитивность мощности работы по преодолению внутренних контактных сил. Система скоростей нагрева (передачи тепла). Внутренняя и полная энергия тела. Уравнения баланса внутренней и полной энергии тела (первый закон термодинамики). Независимость внутренней энергии и системы скоростей нагрева от системы отсчета. Аддитивность внутренней энергии и попарная уравновешенность системы скоростей нагрева.

2.2. Гипотезы термомеханики сплошных сред о распределенности внутренней энергии по отношению к массе, о распределенности массовых и контактных систем скоростей нагрева. Теория теплового потока Фурье–Стокса для контактных систем скоростей нагрева (аналог теории напряжений Коши): основной постулат, лемма о локальной попарной уравновешенности, фундаментальная теорема о существовании вектора потока тепла.

2.3. Уравнения баланса энергии в интегральной форме и в дифференциальной форме (уравнение притока тепла для плотностей внутренней и полной энергии частицы тела). Циклы. Энергетическая отдача. Невозможность вечного двигателя первого рода.

2.4. Термомеханическая система, экстенсивные и интенсивные параметры системы, однородные процессы. Независимые термомеханические параметры, ситуация, процесс, состояние. Термостатика: равновесные состояния и процессы. Обратимость. Термическое взаимное равновесие тел; температура, холодность

2.5. Аксиома диссипации. Верхняя тепловая грань, некомпенсированное тепло (рассеяние, диссипация). Скорость диссипации, неравенство Планка. Принцип термодинамически допустимого детерминизма. Энтропия, аксиома диссипации в форме неравенства Клаузиуса (второй закон термодинамики). Свободная энергия, приведенное неравенство диссипации. Формулировки неравенств в терминах экстенсивных и интенсивных параметров. Эффективный принцип термодинамически допустимого детерминизма.

2.6. Циклы. Тепловые машины (положительная механическая энергоотдача), коэффициент полезного действия. Оценка Карно–Клаузиуса–Кельвина.

2.7. Адиабатические, изэнтропические и изотермические процессы. Необходимые условия достижения верхней оценки коэффициента полезного действия цикла тепловой машины. Цикл Карно. Теорема Трусделла о необходимых и достаточных условиях достижения максимального коэффициента полезного действия тепловой машины в цикле Карно.

2.8. Общие следствия второго закона термодинамики для тепловых и холодильных машин. Необходимость тепловой отдачи тепловой машины (невозможность вечного двигателя второго рода). Холодильные машины. Цикл, обратный к циклу Карно. Невозможность передачи тепла от холодного тела к горячему без каких-либо изменений в других телах (без производства работы над рабочим телом холодильника). Теплопроводность, неравенство Фурье. Закон теплопроводности Фурье.

2.9. Классические определяющие соотношения термомеханики (уравнения состояния). Ситуация (состояние) и термодинамические давления. Теорема о термодинамическом потенциале. Теплоемкости, скрытые теплоты. Теорема Клаузиуса о зависимости внутренней энергии только от температуры.

2.10. Двухпараметрические термомеханические системы. Термодинамический идеальный газ. Совершенный идеальный газ: формула Майера, адиабата Пуассона, цикл Карно. Политропные процессы. Выражения внутренней энергии, энтропии и свободной энергии для совершенного идеального газа.

2.11. Термодинамические потенциалы классической термомеханики: свободная энергия, внутренняя энергия, энтальпия (теплосодержание), свободная энтальпия (потенциал Гиббса), энтропия.

2.12. Диссипативные термодинамические системы. Линейное трение: вектор равновесного термодинамического давления и тензор давления трения. Теорема о термодинамических системах с линейным трением. О недостижимости верхней тепловой грани и максимального коэффициента полезного действия в циклах Карно.

2.13. Напряжения и деформации как термомеханические параметры, энергетическая сопряженность. Классическая термомеханическая среда и среда с внутренним линейным трением (линейной вязкостью): определяющие соотношения и диссипация в терминах условных тензоров напряжений Пиолы–Кирхгофа первого и второго рода. Теорема о линей-но вязких термомеханических жидкостях. Свойства коэффициентов вязкости.

2.14. Термоупругость. Термодинамические потенциалы термоупругого тела при произвольных деформациях и в классическом случае малых деформаций. Проявление свойств гиперупругости в изотермических и адиабатических процессах.

2.15. Классическая линейная теория термоупругости. Основные положения и выражение свободной энергии. Представление определяющих соотношений через свободную энергию. Свойства и физический смысл констант линейной термоупругости (констант свободной энергии).

2.16. Классическая линейная теория термоупругости: представление определяющих соотношений через свободную энтальпию (потенциал Гиббса) и через внутреннюю энергию. О наборах констант классической линейной термоупругости.

2.17. О постановках задач термомеханики для идеальных несжимаемых и сжимаемых жидкостей. Уравнения движения Эйлера, уравнения неразрывности и теплопроводности, начальные и граничные условия для механических и термических параметров. Баротропия гомоэнтропичных и гомотермических течений, случай идеального совершенного газа.

2.18. Постановка задачи термомеханики для модели вязкой жидкости. Уравнения движения Навье–Стокса, уравнения неразрывности и теплопроводности, начальные и граничные условия. Уравнение теплопроводности для вязкого теплопроводного совершенного газа.

2.19. Постановки краевых задач классической линейной теории термоупругости с определяющими соотношениями, выраженными через свободную энергию, внутреннюю энергию и свободную энтальпию (потенциал Гиббса). Граничные и начальные условия для механических и термических параметров. Уравнения движения и теплопроводности в терминах вектора перемещений и температуры (энтропии).

2.20. Случаи упрощения уравнений задачи линейной термоупругости: несвязанная задача, изотропия свойств линейной термоупругости, квазистатика. Пример: температурные напряжения в однородном линейно термоупругом шаре, случай точечного источника тепла.

2.21. О других подходах в термомеханике. Классические аксиомы термомеханики (уравнение баланса энергии, аксиома диссипации и неравенство Фурье), уравнение производства энтропии и неравенство Клаузиуса–Дюгема. Диссипативная функция, принцип Онзагера. Подход Ильюшина.

2.22. Приведенное обобщенное неравенство диссипации и обобщенный принцип термодинамически согласованного детерминизма в подходе с неравенством Клаузиуса–Дюгема. Способы стандартной интерпретации термомеханических характеристик (накопления, ситуации, обобщенного градиента температуры, термомеханического натяжения и обобщенного теплового потока).

2.23. Термоупругость: вывод определяющих соотношений из обобщенного принципа термодинамически согласованного детерминизма (на основе неравенства Клаузиуса–Дюгема).

3. Усложненные модели сред и движений.

3.1. Усложненные модели движений. Поверхности разрывов, скорости распространения. Слабые и сильные разрывы. Геометрические и кинематические условия слабого разрыва. Следствия для поля перемещений.

3.2. Теорема Рейнольдса о переносе, модификация на случай поверхности сильного разрыва. Следствие для бесконечно малого материального объема в форме цилиндра, рассеченного поверхностью сильного разрыва. Общее интегральное условие баланса и теорема об общем динамическом условии баланса на поверхности сильного разрыва.

3.3. Динамические условия сохранения массы, баланса количества движения и момента количества движения, баланса энергии и производства энтропии на поверхности сильного разрыва (на ударном фронте). О скачке энтропии на ударном фронте. Тангенциальный разрыв. Скачки уплотнения и разрежения.

3.4. Поверхности сильного разрыва в идеальных сжимаемых средах. Адиабата Гюгонио. Физическая осуществимость скачков уплотнения. Сверхзвуковая скорость ударного фронта, дозвуковая скорость частиц среды после скачка.

3.5. Усложненные модели сред. Реология сред с памятью, реономность и склерономность. Материалы Ривлина–Эриксена. Конечность предыстории, старение. Нестареющие реономные среды интегрального типа.

3.6. Вязкоупругость. Простейшие модели вязкоупругости (модели Максвелла и Фойгта). Изотропное линейно вязкоупругое тело (классическая линейная вязкоупругость). Связь ядер релаксации и ползучести. Модули мгновенной упругости. Нестареющие вязко-упругие тела, ядра разностного типа.

3.7. Определяющие соотношения нестареющего изотропного линейно вязкоупругого тела в форме Больцмана. Определение функций ползучести и релаксации из опытов. Температурно-временная аналогия.

3.8. Пластичность. Диаграмма растяжения–сжатия образца. Предел упругости, площадка текучести, эффект Баушингера. Простейшие одномерные модели идеальной пластичности, пластичности с изотропным упрочнением, пластичности с кинематическим упрочнением (схема Прагера–Циглера). Классические модели пластичности для (частиц) трехмерных тел: теория Сен-Венана, теория Прандтля–Рейсса, деформационная теория Генки. О применении классических теорий.

3.9. Простые упругопластические процессы. Совпадение классических теорий для простых процессов. Теория малых упругопластических деформаций Ильюшина. Теорема о простом нагружении.