

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

О.В. Кузьмина

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Учебное пособие

Часть 1

Москва 2012

УДК 532.0
ББК 22.253я73
К 89

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор **Ф.В. Шугаев**
(Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова);
кандидат физико-математических наук, доцент **И.А. Квасников**
(Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова)

Кузьмина, О.В.

К 89 Механика жидкости и газа : учебное пособие. Ч. 1. / О.В. Кузьмина ; М-во образования и науки Росс. Федерации ; ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». – Москва : МГСУ, 2012. — 126 с.

ISBN 978-5-7264-0665-7

ISBN 978-5-7264-0688-6 (ч. 1)

В первой части учебного пособия изложены наиболее важные понятия, теоремы, уравнения кинематики и динамики сплошной среды, с их использованием записаны полные системы уравнений движения для основных моделей жидких и газообразных сред: идеальных и линейно-вязких (ньютоновских) жидкостей и газов. В частности, выведены уравнения Эйлера и уравнения Навье — Стокса, рассчитана мощность внутренних поверхностных сил и выписано уравнение притока тепла, освещен вопрос диссипации механической энергии с учетом как сдвиговой, так и объемной вязкости, рассмотрены начальные и граничные условия, используемые при решении уравнений движения.

Для студентов технических вузов, обучающихся по направлению «Прикладная механика» и по специальности «Прикладная математика». Пособие ориентировано на формирование у студентов теоретической базы и практических навыков в соответствии с видами профессиональной деятельности, предусмотренными ФГОС ВПО, в том числе необходимых при проведении теоретических и расчетно-экспериментальных работ с элементами научных исследований.

Учебное пособие написано доступно, с учетом базового уровня подготовки студентов технических вузов и будет полезно студентам различных специальностей при изучении гидромеханики, аэродинамики и других дисциплин.

УДК 532.0
ББК 22.253я73

ISBN 978-5-7264-0688-6 (ч. 1)
ISBN 978-5-7264-0665-7

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
-----------------------	---

ГЛАВА I

КИНЕМАТИКА СПЛОШНОЙ ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЫ

§ I. 1. Переменные Лагранжа и переменные Эйлера. Субстанциональная, локальная и конвективная производные	12
---	----

Описание движения сплошной среды с точки зрения Лагранжа (12). Описание движения сплошной среды с точки зрения Эйлера (14). Переход от переменных Лагранжа к переменным Эйлера (16). Переход от переменных Эйлера к переменным Лагранжа (16). Субстанциональная (индивидуальная), локальная (местная) и конвективная производные (18). Формулы для определения компонент ускорения (21).

§ I. 2. Линии тока и траектории жидких частиц. Трубки тока и струи	22
---	----

Поле скоростей. Линии тока, дифференциальные уравнения линий тока (22). Траектории жидких частиц, дифференциальные уравнения траекторий (27). Поверхности тока, трубки тока и струи (28).

§ I. 3. Распределение скоростей в элементарном объеме деформируемой сплошной среды. Теорема Коши-Гельмгольца. Тензор скоростей деформаций и кинематический смысл его компонент	30
---	----

Распределение скоростей в элементарном объеме деформируемой сплошной среды. Тензор скоростей деформаций (30). Кинематический смысл компонент тензора скоростей деформаций (34).

Скорость относительного объемного расширения среды. Истолкование физического смысла дивергенции вектора скорости в механике сплошной среды (38).

§ I. 4. Вихревое и безвихревое движение. Вихревые линии и вихревые трубки. Кинематические теоремы Гельмгольца, Стокса, Кельвина.	40
--	-----------

Вихревое и безвихревое движение (40). Вихревые линии, дифференциальные уравнения вихревых линий (41). Вихревые поверхности и трубки (42). Примеры вихревых движений (44). Поток вихря скорости через поверхность, интенсивность вихревой трубки. Кинематическая теорема Гельмгольца (46). Циркуляция вектора скорости, теоремы Стокса и Кельвина (50).

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕМЫ И УРАВНЕНИЯ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

§ II. 1. Распределение массы и сил в сплошной среде. Массовые и поверхностные силы. Равенства Коши, тензор напряжений.	52
--	-----------

Общие замечания (52). Распределение массы в сплошной среде, понятие плотности среды, изостеры (53). Распределение сил в сплошной среде. Массовые и поверхностные силы (54). Плотность распределения массовых сил (55). Плотность распределения поверхностных сил, вектор механического напряжения (56).

§ II. 2. Уравнение неразрывности.	57
---	-----------

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности (57). Модель несжимаемой жидкости (59). Массовый расход жидкости через поверхность. Плотность потока жидкости (59). Объемный расход несжимаемой жидкости через поверхность (62).

§ II. 3. Уравнение количества движения. 63

Теорема об изменении количества движения (импульса) для конечного индивидуального объема сплошной среды. Уравнение количества движения в интегральной форме (63). Основные свойства внутренних напряжений, формула Коши, тензор напряжений (66). Основное дифференциальное уравнение движения сплошной среды – уравнение динамики сплошной среды «в напряжениях» (68).

§ II. 4. Уравнение моментов количества движения. 71

Теорема об изменении главного момента количества движения конечного индивидуального объема сплошной среды. Уравнение моментов в интегральной форме (71). Симметрия тензора напряжений (74).

§ II. 5. Теорема об изменении кинетической энергии. Закон сохранения энергии. Уравнение энергии. Уравнение притока тепла. 75

Теорема об изменении кинетической энергии в интегральной форме (теорема живых сил) (75). Уравнение кинетической энергии в дифференциальной форме (79). Закон сохранения энергии (первый закон термодинамики). Уравнение энергии в интегральной форме (81). Уравнение энергии в дифференциальной форме (85). Уравнение притока тепла (уравнение баланса внутренней энергии) в дифференциальной форме (87). Закон теплопроводности Фурье (88).

ГЛАВА III

ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ В МЕХАНИКЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

§ III. 1. Понятие теоретической модели среды. Жидкие и газообразные среды. 89

Понятие теоретической модели среды. Определяющие уравнения (89). Жидкие и газообразные среды (90).

§ III. 2. Статика жидких и газообразных сред. Тензор напряжений в покое жидкостях и газах. Уравнения Эйлера	91
<p>Равновесие жидкости. Закон изотропии нормальных напряжений (91). Гидростатическое давление (93). Тензор напряжений (94). Уравнения Эйлера равновесия жидкости (94).</p>	
§ III. 3. Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полная система уравнений движения идеальной жидкости.	95
<p>Модель идеальной жидкости. Тензор напряжений (95). Уравнения Эйлера динамики идеальной жидкости (96). Удельная мощность внутренних поверхностных сил при движении идеальной жидкости. Уравнение притока тепла (97). Полная система механических уравнений для несжимаемой идеальной жидкости (98). Полная система механических уравнений в случае баротропного движения сжимаемой идеальной жидкости (99). Полная система уравнений движения сжимаемой идеальной нетеплопроводной жидкости (100).</p>	
§ III. 4. Модель ньютоновской вязкой жидкости. Тензор вязких напряжений. Обобщенный закон Ньютона.	101
<p>Понятие вязкой жидкости. Тензор вязких напряжений (101). Модель ньютоновской вязкой жидкости (газа) (102). Эмпирический закон Ньютона вязкого трения. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости (102). Обобщенный закон Ньютона для изотропной несжимаемой жидкости (103). Обобщенный закон Ньютона для вязкого газа (104). Формулы зависимости динамического коэффициента вязкости газов от температуры (107).</p>	

§ III. 5. Уравнения Навье-Стокса движения ньютоновской вязкой жидкости.	108
<p>Уравнения Навье – Стокса движения несжимаемой ньютоновской вязкой жидкости (108). Уравнения Навье – Стокса движения вязкой ньютоновской сжимаемой жидкости (газа) (111).</p>	
§ III. 6. Диссипация механической энергии в потоке вязкой жидкости. Диссипативная функция. Уравнение притока тепла. Полная система уравнений движения ньютоновского вязкого газа.	111
<p>Удельная мощность внутренних поверхностных сил при движении вязкой жидкости. Диссипация механической энергии в потоке вязкой жидкости. Общие соотношения (111). Движение ньютоновской несжимаемой жидкости (113). Движение вязкого ньютоновского газа (114). Уравнение притока тепла. Уравнение (тождество) Гиббса (115). Модель идеальной жидкости (116). Полная система уравнений движения ньютоновского вязкого газа (116).</p>	
§ III. 7. Начальные и граничные условия при решении уравнений движения жидкости и газа.	117
<p>Граничные условия на поверхности обтекаемого жидкостью или газом твердого тела с непроницаемой поверхностью (117). Граничные условия на свободной поверхности жидкости (119).</p>	
Предметный указатель.	121
Список литературы.	124