

УДК 531(075.8)
ББК 22.22
П75

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://bmstu.press/catalog/item/6290/>

Рецензенты:

зав. кафедрой газовой и волновой динамики механико-математического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова академик РАН *Е.И. Шемякин*;
зав. лабораторией волновых процессов д-р физ.-мат. наук, проф. *Н.Н. Смирнов*;
зав. кафедрой теоретической и экспериментальной механики Саровского государственного физико-технического института д-р техн. наук, проф. *С.А. Новиков*;
зав. кафедрой прикладной математики МГТУ им. Н.Э. Баумана д-р техн. наук,
проф. *В.С. Зарубин*

Прикладная механика сплошных сред : учебник для вузов : в 3 т. /
П75 под общ. ред. В. В. Селиванова. — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021.

ISBN 9785-7038-4946-0

Т. 1 : А. В. Бабкин, В. В. Селиванов. Основы механики сплошных сред. —
4-е изд., испр. — 2021. — 255, [1] с. : ил.

ISBN 9785-7038-4947-7

В первом томе комплекса учебников «Прикладная механика сплошных сред» приведены основные элементы векторного и тензорного анализа, необходимые и достаточные для изучения краткого курса «Основы механики сплошных сред», излагаемого с помощью математического аппарата тензорного исчисления. Рассмотрены понятия и соответствующие физические величины, используемые для описания движения и состояния материального континуума. Выводятся уравнения и соотношения, справедливые для описания поведения любых сплошных сред независимо от их агрегатного состояния и физико-механических свойств.

Описаны основные реологические модели сплошных сред и приведены соответствующие физические соотношения. Даны общие принципы постановки задач механики сплошных сред и примеры постановки ряда практических задач. В приложении приведены примеры решения типовых задач.

В основу учебника положен материал лекций, читаемых авторами студентам МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов технических университетов и машиностроительных вузов.

УДК 531(075.8)
ББК 22.22

ISBN 9785-7038-4947-7 (т. 1)
ISBN 9785-7038-4946-0

© Бабкин А.В., Селиванов В.В., 1998
© Бабкин А.В., Селиванов В.В., 2021,
с изменениями
© Оформление. Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	8
<i>Глава 1. Математический аппарат механики сплошных сред</i>	11
1.1. Характер математических объектов математического аппарата механики сплошных сред	11
1.2. Основные элементы векторного исчисления	14
1.2.1. Элементы векторной алгебры	14
1.2.2. Элементы векторного анализа	17
1.3. Основные элементы тензорного исчисления	32
1.3.1. Характеристика системы координат	32
1.3.2. Преобразования координат и базисных векторов	40
1.3.3. Понятие тензора второго ранга	45
1.3.4. Ряд тензоров	48
1.3.5. Элементы тензорной алгебры	51
1.3.6. Элементы тензорного анализа	58
Вопросы и задачи	66
<i>Глава 2. Основные понятия, уравнения и соотношения механики сплошных сред</i>	71
2.1. Представление движения материального континуума	71
2.1.1. Система отсчета наблюдателя и сопутствующая система отсчета. Индивидуализация точек материального континуума	71
2.1.2. Сущность точек зрения Лангранжа и Эйлера на изучение движения сплошной среды	75
2.2. Основы кинематики материального континуума. Теория деформаций	77
2.2.1. Тензор деформаций — характеристика деформированного состояния материального континуума	77
2.2.2. Главные оси деформации и главные деформации. Геометрическое представление тензора деформаций	93
2.2.3. Инварианты тензора деформаций	97
2.2.4. Шаровой тензор деформаций и девиатор тензора деформаций	102
2.2.5. Понятие об уравнениях совместности деформаций	104
2.2.6. Тензор скоростей деформаций	105
2.3. Теория напряжений	109
2.3.1. Напряжение — мера интенсивности внутренних сил	109
2.3.2. Тензор напряжений — характеристика напряженного состояния материального континуума	110
2.3.3. Главные оси, главные площадки и главные значения тензора напряжений. Геометрическое представление тензора напряжений	113
2.3.4. Инварианты тензора напряжений	115
2.3.5. Шаровой тензор напряжений и девиатор тензора напряжений	117
2.3.6. Условия равновесия материального континуума	118
2.4. Законы сохранения в механике сплошных сред. Элементы термодинамики сплошных сред	122

2.4.1. Полная, локальная и конвективная производные.....	122
2.4.2. Закон сохранения массы — уравнение неразрывности.....	124
2.4.3. Закон сохранения импульса — уравнения движения	128
2.4.4. Баланс механической энергии — теорема «живых сил».....	131
2.4.5. Закон сохранения энергии при отсутствии тепловых явлений	136
2.4.6. Закон сохранения энергии при наличии тепловых явлений. Первый закон термодинамики, уравнение энергии.....	136
2.4.7. Второй закон термодинамики, обратимые и необратимые процессы, энтропия.....	142
Вопросы и задачи.....	150
<i>Глава 3. Модели сплошных сред, их физические соотношения.....</i>	<i>157</i>
3.1. Понятие модели сплошной среды.....	157
3.2. Физическое и механическое поведение деформируемых сред	158
3.2.1. Физическое поведение деформируемых сред. Уравнение состояния	160
3.2.2. Механическое поведение деформируемых сред. Диаграмма механического поведения. Понятие о реономных и склерономных свойствах	163
3.3. Простые модели сплошных сред.....	168
3.3.1. Идеальная среда (идеальная жидкость или идеальный газ)	168
3.3.2. Вязкая жидкость	170
3.3.3. Упругая среда.....	173
3.3.4. Жесткопластическая среда	175
3.4. Модель упругопластической среды	176
3.4.1. Деформационная теория пластичности (теория малых упругопластических деформаций)	177
3.4.2. Критерий пластичности и поверхность пластичности.....	181
3.4.3. Теория пластического течения	185
Вопросы и задачи.....	191
<i>Глава 4. Постановка задач механики сплошных сред</i>	<i>195</i>
4.1. Общие принципы постановки задач	196
4.1.1. Выбор системы отсчета и системы координат	196
4.1.2. Выбор модели сплошной среды.....	197
4.1.3. Составление системы исходных уравнений	198
4.1.4. Выбор основных неизвестных и переход к системе разрешающих уравнений	199
4.1.5. Начальные и граничные условия	200
4.2. Постановка задач механики идеальной жидкости и газа.....	204
4.3. Постановка задач механики вязкой жидкости	208
4.4. Постановка задач теории упругости	211
4.5. Постановка задачи о динамическом взаимодействии упруго- пластических сред.....	213
Вопросы и задачи.....	220
Приложения	223
1. Основные формулы	223
2. Примеры билетов теоретических коллоквиумов рубежного контроля освоения материала.....	229
3. Примеры решения типовых задач.....	238
Литература.....	253