

**Л.И. Седов**

# **Механика сплошной среды**

**том 1**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 53  
ББК 22.3  
Л11

Л11 **Л.И. Седов**  
Механика сплошной среды: том 1 / Л.И. Седов – М.: Книга по Требованию, 2023. – 504 с.

**ISBN 978-5-458-36517-8**

**ISBN 978-5-458-36517-8**

© Издание на русском языке, оформление  
«УОУО Media», 2023  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



- векторного произведения в криволинейной системе 186
- тензора главные 63
- — —, способ определения 73
- — — деформаций ковариантные 66
- — — —, выражения через компоненты вектора перемещения 85, 86
- — —, вычисление по закону движения 76
- — — ковариантные, геометрический смысл 68—70
- — ковариантные 56—58, 68
- — контравариантные 54—57
- — метрического (фундаментального) 58, 60
- — напряжений 145
- — — главные 158
- — — физические 147
- — скоростей деформаций главные 103
- — — —, кинематическое истолкование 142
- — смешанные 58, 60
- — физические 179
- тензоров деформаций главные 71
- — —, их связь 72
- Конденсация газов в испытательной установке 430
- Континуум непрерывный материальный (сплошная среда) 19
- Координаты лагранжевы 27
- начальные 23
- точки 22
- эйлеровы 32
- Коэффициент вязкости второй 172
- — динамический 172
- — кинематический 172
- кубического расширения 75
- относительного удлинения 66
- полезного действия тепловой машины 228
- Пуассона 172
- Коэффициенты вязкости, их положительность 257, 258
- Ламе 170
- связности (символы Кристоффеля) 79
- Критерии подобия 428
- Критерий необратимости процесса 263
- обратимости процесса 263
- Крыло 420
- Линеаризация граничных условий 348
- задач механики сплошной среды 348, 352
- Линия векторная 40, 115
- вихревая 115
- координатная 22
- тока 40, 41
- Машина тепловая 227, 242
- холодильная 227
- Метод исследования статистический 19
- — феноменологический 19
- Механика ньютонианская 20
- сплошной среды 9
- — —, ее методы 14
- — —, ее проблемы 11
- — —, существенные для нее физико-химические процессы 17, 18
- Модели, их выбор и построение 334
- Моделирование 426, 430
- — плавания кораблей 430
- Моделирование по Фруду 431
- процессов в грунтах 432
- с использованием центробежной машины 432
- упругих конструкций 431
- Модель вязкой жидкости 165, 255—256
- идеального газа 160, 253—255
- идеальной несжимаемой жидкости 250—253
- линейного упругого тела 166

— линейной вязкой жидкости 255—  
258, 260, 261  
— проводящей жидкости в  
магнитной гидродинамике  
322—329  
— среды математическая, ее  
построение 160  
— тела с наследственностью 196  
— упругого тела 165  
Модуль Юнга 172  
Момент количества движения точки  
147  
— — — системы 148  
— — — внутренний (собственный)  
150, 153  
— — — индивидуального объема  
сплошной среды 149—151  
— — — орбитальный 150  
— магнитный дипольный 270  
— пондеромоторной силы 317  
— пондеромоторный 316—319  
— собственный поля 316  
— электромагнитного поля и среды  
320  
Мощность источника (стока) 46  
Намагничивание 305  
Напряжения внутренние 135, 136,  
140  
Напряженность вихревой трубки 117  
Начало термодинамики второе 228,  
232, 236, 238—240  
— — — для конечного объема  
сплошной среды 261  
— — — первое 205  
— — — для конечного объема  
сплошной среды 261  
Нелинейность задач механики  
сплошной среды 346  
Необратимость разрывных движений  
355, 363  
Непрерывность функций, задающих  
закон движения 24  
Область многосвязная 113  
— односвязная 113

Обтекание клина и угла  
сверхзвуковое 391  
— шара 420, 421  
Оператор Лапласа от скалярной  
функции  
в ортогональной системе координат  
182—183  
Операция альтернирования тензоров  
55  
— симметрирования тензоров 55  
Оси тензора главные 63, 73  
— — деформаций главные 73, 159,  
169, 170  
— — напряжений главные 157, 159,  
169,  
— — скоростей деформаций главные  
70, 103, 159, 170  
Пара массовая распределенная 151  
— поверхностная распределенная  
151  
Парадокс часов 293  
Параметры макроскопические 195  
— определяющие 194, 195, 197, 405,  
406  
— —, полная система 197  
— состояния 194—198  
Переменные лагранжевы 23, 33  
— эйлеровы 32, 33  
Переход от переменных Лагранжа к  
переменным Эйлера 33  
— — — Эйлера к переменным  
Лагранжа 33  
П-теорема 403, 404  
Плазма 267  
Плотность внутренней энергии 210  
— заряда 267  
— истинная массовая 124  
— кинетической энергии 192  
— массовой силы 133  
— поверхностной силы 134  
— средняя массовая 124  
— тока 296  
— функции Лагранжа 473  
Поверхность векторная 43, 115

— вихревая 115  
— изотермическая 36  
— разрыва 353, 364, 365  
— — в идеальной сжимаемой среде 373—393  
— — скорости 330—331  
— тензорная 62—63  
— — тензора напряжений 156, 157, 159  
— тока 43  
— фазовая 350  
— эквипотенциальная 36, 44  
Поворот чистый 95  
Подобие геометрическое 426  
— при обтекании тел вязкой несжимаемой жидкостью 428  
— — — газом с учетом сжимаемости 429  
— физическое 426  
Поле 34  
— векторное 35  
— — потенциальное 44  
— — соленоидальное 113  
— гравитационное, его дифференциальные уравнения 271  
— однородное 38  
— скалярное 34  
— скоростей потенциальное 44  
— электромагнитное 266 и далее  
— —, его инвариантные характеристики 295  
Поляра ударная (гипоциссоида) 389  
Поляризация 268, 305  
Поршень плоский 384—385  
— сферический 386  
Постоянная Больцмана 217  
— газовая 217  
— — универсальная 217  
Постулат о постоянстве скорости света 284  
Потенциал векторный 279, 308  
— скорости 44  
— термодинамический Гиббса 247, 248

Потенциалы термодинамические 245—250  
Преобразование аффинное 94  
— — бесконечно малое 98, 104  
— бесконечно малой частицы сплошной среды 93, 105  
— векторов базиса ковариантных 51  
— — базиса контравариантных 55, 56  
— — основных электромагнитного поля 308  
— — электрической и магнитной напряженности 293—296  
— Галилея 282, 289  
— компонент  $dr$  51  
— компонент тензора 53, 57 | 58  
— координат 47  
Преобразование координат при переходе от одной инерциальной системы к другой в специальной теории относительности 285—287  
— Лоренца 281, 287, 289,  
— — бесконечно малое 289  
— — частное 290  
— ортогональное 289  
— полиадных произведений 53, 57  
— символов Кристоффеля 86  
Принцип необывания энтропии для изолированной системы 245  
— относительности Галилея — Ньютона 26, 283  
Приток тепла полный извне к двухпараметрической системе 224, 227  
— энергии к среде 204, 219, 224, 258, 260, 262, 313—315  
Проводимость 299  
Проводник электрический 296  
Произведение векторное 186  
Произведения векторов базиса полиадные 52, 53  
— — — диадные 52, 53

Производная индивидуальная  
(субстанциональная, полная)  
36, 39, 192  
— конвективная 36, 38, 39  
— локальная (местная) 36, 39  
— по направлению 37  
Производные компонент вектора  
ковариантные 79, 82  
— — тензора ковариантные 80, 81  
Производство энтропии 261, 263—  
265  
Пространство евклидово 20, 59, 88  
— метрическое 20  
— Минковского 278, 282, 287  
— неевклидово 59  
— псевдоевклидово 26, 59, 278  
— состояний 199  
Процесс 199  
— адиабатический 220, 254  
— — необратимый 244  
— — обратимый 244  
— баротропный 164, 221  
— без диффузии 128  
— замкнутый по параметрам  
внутренней энергии и  
незамкнутый по параметрам  
энтропии 243  
— изотермический 220, 254  
— необратимый 213  
— непрерывный 200  
— неравновесный 212  
— нестационарный  
(неустановившийся) 39  
— обратимый 213  
— политропный 221  
— равновесный 212  
— разрывный 200  
— с диффузией 129  
— стационарный (установившийся)  
39  
Процессы физико-химические,  
существенные для механики  
сплошной среды 17, 18  
Псевдотензор третьего ранга 185

Пучность 350  
Работа внешних поверхностных сил  
190  
— внутренних поверхностных сил  
191  
— — — — в вязкой жидкости 256  
— — — — в идеальной жидкости  
199, 251  
— — — — в среде с симметричным  
тензором напряжений 191  
— — и внешних массовых сил 190,  
192  
—, совершаемая  
двухпараметрической системой  
224, 226, 227  
Равновесие термодинамическое 212  
Размерность 395  
Разрыв неподвижный 373  
— слабый 358  
— сильный 358, 359  
— — в электромагнитном поле 368  
— тангенциальный 366  
Ранг (валентность) тензора 54  
Распадение разрыва 365  
Распределение скоростей в  
абсолютно твердом теле 101  
— — в бесконечно малой частице  
сплошной среды 98  
Распространение разрыва по  
частицам среды 374  
Расход источника (стока) 46  
Реология 160  
Решения разрывные 353, 355  
Ротация вектора 109  
— — в криволинейной системе  
координат 185  
Свертка 62  
Свойства непрерывных отображений  
25  
Связь антисимметричного тензора  
второго ранга и аксиального  
вектора в трехмерном  
пространстве 104, 183

- — — — о аксиальном и полярном вектором в четырехмерном пространстве 186—188
- компонент тензоров деформаций и скоростей деформаций 97
- Сила внешняя 134
  - внутреннего трения 136
  - внутренняя 134
  - гравитационная 134
  - инерции 134
  - Лоренца 301
  - массовая 133, 134
  - обобщенная 476
  - объемная 133, 134
  - поверхностная 134
  - подъемная 417
  - пондеромоторная 300, 312
  - распределенная 133
  - сопротивления 417
  - сосредоточенная 133
  - термодинамическая обобщенная 264
- Силы внутренних напряжений 135
- Символ Кронекера 49
- Символы Кристоффеля 79, 84, 86, 177
  - в ортогональной системе 177
- Симметрия 167
  - тензора напряжений в классическом случае 157
- Система единиц измерения 395
  - координат 22
  - в специальной теории относительности 285, 287
  - в замороженной (сопутствующая) 27, 291, 465, 466
  - инерциальная 26, 283
  - криволинейная 22
  - определяющих параметров 466
  - отсчета наблюдателя 26, 333
  - координат прямолинейная 22
  - собственная 291
  - термодинамическая 194
- —, взаимодействие с внешними объектами 201
- — голономная 198, 207
- — изолированная 245
- Скаляр 62
- Скачок внутренней энергии 375
  - неподвижный 383
- Скачок разрешения 367, 375, 382, 388
  - уплотнения 367, 375, 382, 388
  - косоугольный 390
  - прямой 390
- Скорость 28
  - относительного изменения объема 107
  - удлинения 101
  - поверхности разрыва 365
  - распространения прогрессивных волн
  - света 273, 278
  - чистой деформации 103
- Сложение тензоров 55
- Сопротивление 417, 422
- Состояние начальное 67, 68
- «Состояние начальное» 67, 68
- Состояние системы 194
  - равновесное, наиболее вероятное 214
- Спин 150, 269
  - -тензор 54
- Спинор 54
- Среда анизотропная 167
  - гиротропная 168
  - двухпараметрическая 216—237, 245—250
  - идеальная 160
  - изотропная 167
  - многопараметрическая 194, 238
  - несжимаемая 130
  - с бесконечной проводимостью 300
  - сплошная 19, 24
- Сток 46
- Строение реальных тел 15—16
- Структура разрывов 354
- Сумма тензоров 52

Суперпозиция решений 350  
Тело материальное 124  
— упругое 165  
Температура 215  
Тензор 47, 54  
— Абрагама 320  
— антисимметричный 55, 104, 183,  
186—188  
— внутренних напряжений 145  
— второго ранга 54, 61  
— Леви-Чивита 185  
— метрический (фундаментальный)  
59, 60  
— Минковского 308  
— момента электромагнитного поля  
319  
— напряжений 145  
— — в идеальной жидкости 161  
— —, симметрия в классическом  
случае 154  
— нулевого ранга 61  
— первого ранга 54, 61  
— пондеромоторного момента  
электромагнитного поля 318  
— ранга  $P$  61  
— Римана — Кристоффеля 89  
— симметричный 54  
— скоростей деформаций 96  
—, число его компонент 61  
— шаровой 162  
— электромагнитного поля 279, 282  
— энергии-импульса 283, 308, 319,  
320, 321  
Тензоры деформаций 67, 95  
Теорема Гаусса — Остроградского  
120, 121  
— живых сил 189, 203  
Теорема живых сил для бесконечно  
малого объема сплошной среды  
192  
— — — для конечного объема  
сплошной среды 191  
— Карно 228

— Коши — Гельмгольца о  
разложении скорости 107  
— Лагранжа 331, 332  
— Стокса 111  
— Томсона 330  
Теоремы Гельмгольца  
кинематические о вихрях 117  
— — динамические 332  
Теория волн 350  
— дислокаций 467  
— молекулярно-кинетическая 215  
— Онзагера 265  
— относительности 21  
— — общая 26, 287, 466, 471—485  
— — специальная 26, 277—296,  
306—322, 472  
— пластичности 13, 467  
— упругости 13, 95, 166, 350  
Тепло джоулево 219, 303  
— некомпенсированное 242, 257, 363  
—, подвод к среде 204, 219, 224, 258,  
262  
— — — — за счет теплопроводности  
по закону Фурье 260  
Теплоемкость при постоянном  
давлении 219  
— — — объеме 218  
Теплопроводность 219, 262  
Теплосодержание 247  
Течение вихревое 117  
— поступательное 45  
— потенциальное 44, 110, 112  
Ток проводимости 296  
— смещения 298  
— Холла 300  
Точка зрения Лагранжа 28, 32  
— — Эйлера 32  
Точки критические 43  
— особые 43, 337  
— — дифференциальных уравнений  
линий тока 43  
Трубка векторная 44, 115  
— вихревая 115  
— тока 44, 130

Узел 350  
 Умножение тензора на число 55  
 — тензоров 61  
 Уравнение вариационное базисное  
 470, 473  
 — — Лагранжа 471  
 — вековое 74, 158  
 — волновое 278, 280  
 — динамики основное 136  
 — закона сохранения энергии 209  
 — импульсов 139, 362  
 — — с учетом пондеромоторных сил  
 301  
 Уравнение Клапейрона 164, 217  
 — количества движения системы 137  
 — — — для конечного объема  
 сплошной среды 138, 139  
 — — — для точки 136  
 — Лапласа 272  
 — моментов 362  
 — — в четырехмерной форме 315—  
 322  
 — — количества движения в  
 дифференциальной форме 153  
 — — — — в классическом случае  
 152  
 — — — — для конечного объема  
 сплошной среды 151  
 — — — — для системы точек 148  
 Уравнение моментов количества  
 движения для точки 147  
 — неразрывности 130, 132, 302  
 — — в криволинейных координатах  
 179  
 — — в переменных Лагранжа 132  
 — — — — Эйлера 125  
 — — в цилиндрической и  
 сферической системах  
 координат 180  
 — — для процессов с диффузией 129  
 — притока тепла 209  
 — — — дифференциальное 210  
 — — — — для вязкого  
 теплопроводного газа 260

— — — — для идеального газа 216  
 — — — — для проводящей среды 305  
 — Пуассона 272  
 — состояния совершенного газа 217  
 — теории упругости основное 147  
 — теплопроводности 261  
 — Умова — Пойптинга 302, 304  
 — характеристическое (вековое) 74  
 — энергии 209, 362  
 — энтропии 363  
 Уравнения движения идеальной  
 жидкости в цилиндрической и  
 сферической системах 186  
 — — — —, полная система 163  
 — — — — при баротропных  
 процессах (полная система) 164,  
 165  
 — — — — (уравнения Эйлера) 162  
 — — вязкой несжимаемой жидкости  
 (полная система) 164, 165  
 — — сплошной среды 143, 146  
 — — упругого тела в перемещениях  
 для малых деформаций (полная  
 система) 175  
 — гравитационного поля  
 дифференциальные 271  
 — движения в форме Лемба —  
 Громеки 163  
 — Ламе 174—176  
 — линий тока 41  
 — магнитной гидродинамики для  
 среды с бесконечной  
 проводимостью 323  
 — Максвелла в электростатике 270  
 — — в интегральной форме 305, 368  
 — — в тензорной форме 277, 279,  
 307  
 — — в проводниках 277, 279, 297,  
 298  
 — — для электромагнитного поля в  
 пустоте 273, 275, 282  
 — — в материальных  
 поляризованных  
 намагниченных телах 305, 307

- — в четырехмерном пространстве 277, 279, 307
- механики и термодинамики универсальные 362
- Навье — Стокса 173, 256, 417
- совместности деформаций конечных 86, 91, 337
- — — бесконечно малых 91
- — скоростей деформаций 97
- состояния 164, 217, 236, 253, 254, 256
- Ускорение точки 31 (см. компоненты вектора)
- Условие евклидовости пространства 90
- обтекания 339
- прилипания 338
- Условия в бесконечности 336
- Условия граничные (краевые) 338
- на величины, сохраняющие значение о индивидуальном объеме 125
- на поверхностях сильных разрывов 364, 365, 375
- — — в электромагнитном поле 369—370
- на свободной границе 340
- — — в идеальной жидкости 341
- начальные 337
- совместности деформаций, см. уравнения совместности деформации
- Форма квадратичная фундаментальная 59
- Формула Гиббса 256
- дифференцирования по времени интеграла по жидкому объему 121—125
- — — — потока соленоидального вектора через жидкую поверхность 326—327

- Майера 219
- размерности 395
- Эйлера для распределения скоростей
- в абсолютно твердом теле 101
- Функция гармоническая 343
- диссипативная 264, 265
- тока 344
- характеристическая 344
- Характеристики системы обыкновенных дифференциальных уравнений 44
- Центр масс системы 137
- Цикл 200
- Карно 225—239
- Циркуляция вектора по контуру 109
- Число Маха 391, 424, 429
- Рейнольдса 418, 428
- Фруда 423, 431
- Энергия, ее различные виды 201
- внутренняя как термодинамический потенциал 246
- кинетическая индивидуального объема сплошной среды 189
- несжимаемой жидкости внутренняя 252
- свободная 246
- системы внутренняя 208, 246
- — полная 208
- совершенного газа внутренняя 217
- электромагнитного поля 303
- Энтальпия 247
- Энтропия 235—237, 240, 244
- , изменение вдоль адиабаты Гюгонио 377
- совершенного газа 236
- Эффект гироманнитный 153
- магнитотермический 242

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие . . . . .	5
Глава I. Введение . . . . .	9
§ 1. Предмет и методы механики сплошной среды . . . . .	9
§ 2. Основные гипотезы . . . . .	15
Глава II. Кинематика деформируемой среды . . . . .	22
§ 1. Точка зрения Лагранжа на изучение движения сплошной среды . . . . .	22
§ 2. Точка зрения Эйлера на изучение движения сплошной среды . . . . .	32
§ 3. Скалярные и векторные поля и их характеристики . . . . .	34
§ 4. Элементы тензорного исчисления . . . . .	47
§ 5. Теория деформаций . . . . .	64
§ 6. Тензор скоростей деформаций . . . . .	96
§ 7. Распределение скоростей в бесконечно малой частице сплошной среды . . . . .	98
§ 8. Теоремы Стокса и Гаусса—Остроградского и некоторые связанные с ними свойства векторных полей . . . . .	108
Глава III. Динамические понятия и динамические уравнения механики сплошной среды . . . . .	124
§ 1. Уравнение неразрывности . . . . .	124
§ 2. Уравнения движения сплошной среды . . . . .	133
§ 3. Уравнения моментов количества движения . . . . .	147
§ 4. Главные оси и главные компоненты симметричного тензора напряжений . . . . .	156
Глава IV. Замкнутые системы механических уравнений для простейших моделей сплошных сред. Некоторые сведения из тензорного анализа . . . . .	160
§ 1. Идеальная жидкость и газ . . . . .	160
§ 2. Линейное упругое тело и линейная вязкая жидкость . . . . .	165
§ 3. Примеры уравнений в криволинейных системах координат и дополнительные сведения из тензорного анализа . . . . .	177
Глава V. Основные понятия и уравнения термодинамики . . . . .	189
§ 1. Теорема живых сил и работа внутренних поверхностных сил . . . . .	189
§ 2. Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии) и уравнение притока тепла . . . . .	194
§ 3. Термодинамическая равновесность, обратимые и необратимые процессы . . . . .	212
§ 4. Двухпараметрические среды. Совершенный газ. Цикл Карно . . . . .	216
§ 5. Второе начало термодинамики и понятие энтропии . . . . .	228
§ 6. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред . . . . .	245
§ 7. Примеры идеальных и вязких сред и их термодинамические свойства. Теплопроводность . . . . .	250

§ 8. Первый и второй законы термодинамики для конечных объемов сплошной среды. Производство энтропии в некоторых необратимых процессах . . . . .	261
<b>Г л а в а VI. Основные понятия и уравнения электродинамики . . . . .</b>	<b>266</b>
§ 1. Основные понятия электродинамики. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте . . . . .	268
§ 2. Уравнения Максвелла в пространстве Минковского . . . . .	277
§ 3. Преобразования Лоренца и инерциальные системы отсчета . . . . .	283
§ 4. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками . . . . .	296
§ 5. Взаимодействие электромагнитного поля с телами с учетом поляризации и намагничивания . . . . .	305
§ 6. Магнитная гидродинамика . . . . .	322
§ 7. Законы вмерзженности магнитных и вихревых линий . . . . .	325
<b>Г л а в а VII. О постановке задач в механике сплошной среды . . . . .</b>	<b>333</b>
§ 1. Общие основы постановки конкретных задач . . . . .	333
§ 2. Типичные упрощения в постановках некоторых задач, связанные с уменьшением числа независимых переменных . . . . .	342
§ 3. Линеаризация уравнений и задач механики сплошной среды . . . . .	346
§ 4. Условия на поверхностях сильных разрывов . . . . .	352
§ 5. Сильные разрывы в электромагнитном поле . . . . .	368
§ 6. Поверхности разрыва внутри идеальных сжимаемых сред . . . . .	373
§ 7. Размерности физических величин и II-теорема . . . . .	393
§ 8. Параметры, определяющие класс явлений, и типичные примеры приложения методов теории размерности . . . . .	404
§ 9. Подобие и моделирование явлений . . . . .	426
<b>Д о б а в л е н и е I</b>	
<i>В. В. Лозин, Л. И. Седов</i> , Нелинейные тензорные функции от нескольких тензорных аргументов . . . . .	436
<b>Д о б а в л е н и е II</b>	
<i>Л. И. Седов</i> , Модели сплошных сред с внутренними степенями свободы . . . . .	465
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>487</b>