

А.М. МИХАЙЛОВ

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРИМЕРАХ

*учебное пособие
для техникумов*



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Общие положения	5
§ 1. Задачи расчета элементов конструкций	5
§ 2. Реальный объект и его расчетные схемы. Основные допущения о свойствах материалов и характере деформирования	8
§ 3. Внешние воздействия. Классификация нагрузок	15
§ 4. Внутренние силы	19
§ 5. Понятие о напряжении. Нормальное, касательное и полное напряжение в точке тела	21
Глава II. Осевое растяжение и сжатие прямого бруса	24
§ 6. Продольная сила	24
§ 7. Напряжения, деформации и перемещения. Потенциальная энергия деформации	28
§ 8. Особенности и расчет статически неопределимых систем	41
§ 9. Расчет на прочность. Метод допускаемых напряжений	55
§ 10. Понятие о расчете по разрушающим нагрузкам	65
§ 11. Расчет по предельным состояниям (метод частных коэффициентов)	68
§ 12. Учет влияния собственного веса	83
Глава III. Напряженное и деформированное состояния	89
§ 13. Общие сведения о напряженном состоянии в точке тела. Линейное напряженное состояние	89
§ 14. Плоское напряженное состояние	95
§ 15. Понятие об объемном напряженном состоянии	106
§ 16. Деформации и потенциальная энергия при сложном напряженном состоянии	109
§ 17. Макроскопические критерии пластичности и разрушения	119
§ 18. Механизм хрупкого разрушения. Понятие о расчете на трещиностойкость	131
Глава IV. Расчет соединений	139
§ 19. Понятие о срезе и смятии	139
§ 20. Заклепочные и болтовые соединения	145
§ 21. Сварные соединения	156
§ 22. Соединения на врубках	167
§ 23. Клеевые соединения	172
Глава V. Геометрические характеристики плоских сечений	175
§ 24. Статический момент площади и центр тяжести сечения	175
§ 25. Моменты инерции площади сечения	179
§ 26. Зависимости между моментами инерции при повороте координатных осей. Главные оси и главные моменты инерции	186
Глава VI. Кручение круглого бруса	193
§ 27. Крутящий момент	193
§ 28. Напряжения и деформации. Расчеты на прочность и жесткость	195

Глава VII. Прямой изгиб балок	203
§ 29. Общие понятия. Внутренние силовые факторы. Аналитический способ построения эпюр Q и M	203
§ 30. Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом M , поперечной силой Q и интенсивностью распределенной нагрузки q	221
§ 31. Построение эпюр Q и M по характерным точкам (сечениям)	223
§ 32. Построение эпюр способом сложения	236
§ 33. Нормальные напряжения при изгибе	238
§ 34. Расчет на прочность по нормальным напряжениям	242
§ 35. Касательные напряжения при поперечном изгибе и их проверка	255
§ 36. Расчет балок с учетом развития пластических деформаций	262
§ 37. Главные и эквивалентные напряжения при изгибе. Полная проверка прочности стальных балок	268
Глава VIII. Перемещения в балках	276
§ 38. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки и его интегрирование	276
§ 39. Метод начальных параметров	284
§ 40. Энергетический метод определения перемещений	292
§ 41. Вычисление интеграла Мора способом Верещагина	295
§ 42. Расчет балок на жесткость	305
Глава IX. Статически неопределимые балки	308
§ 43. Расчет однопролетных балок	308
§ 44. Неразрезные балки	313
Глава X. Сложное сопротивление	327
§ 45. Косой изгиб	327
§ 46. Прямой изгиб с осевым растяжением (сжатием)	340
§ 47. Внецентренное сжатие бруса большой жесткости	346
§ 48. Кручение круглого бруса в сочетании с изгибом	357
Глава XI. Устойчивость сжатых стержней	361
§ 49. Понятие об устойчивости прямолинейной формы равновесия. Критическая сила	361
§ 50. Распространение формулы Эйлера на различные случаи закрепления стержней. Критическое напряжение	364
§ 51. Практический метод расчета сжатых стержней на устойчивость	372
Глава XII. Понятие о динамическом действии нагрузок	386
§ 52. Расчет элементов конструкций при известных силах инерции	386
§ 53. Приближенный расчет на удар	389
Литература	401
Приложения	402
Приложение 1. Сортамент материалов	402
Приложение 2. Основные буквенные обозначения	412

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРИМЕРАХ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено
Главным управлением кадров
и учебных заведений
Министерства монтажных
и специальных строительных
работ СССР в качестве
учебного пособия
для техникумов

МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1986



ББК 38.5
М 69
УДК 624.04

Рецензент канд. техн. наук, доц. Л. Н. Курек (Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева)

Михайлов А. М.

М69 Основы расчета элементов строительных конструкций в примерах: Учеб. пособие для техникумов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 416 с., ил.

В книге на большом количестве примеров рассматриваются расчеты элементов **строительных** конструкций на прочность, жесткость и устойчивость по методу предельных состояний. Учтены последние изменения и дополнения, внесенные в нормы проектирования с целью снижения материалоемкости строительных конструкций и повышения их экономичности. Примерам каждой темы предшествуют основные расчетно-теоретические положения и методические указания.

Предназначается для учащихся строительных и монтажных специальностей техникумов.

М $\frac{2105010000-364}{001(01)-86}$ 114—86

ББК 38.5
6 С4.05

Учебное издание

АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ МИХАЙЛОВ

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРИМЕРАХ

Зав. редакцией К. И. Аношина. Редактор М. А. Алексеева. Младшие редакторы Н. М. Иванова, Н. М. Щепина. Художественный редактор Т. А. Дурасова. Технический редактор Т. А. Новикова. Корректор Р. К. Косинова.

ИБ № 5387

Изд. № ОТ-523. Сдано в набор 26.12.85. Подп. в печать 10.06.86. Формат 84×108^{1/32}. Бум. офс. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 21,84 усл. печ. л. 21,95 усл. кр.-отг. 20,04 уч.-изд. л. Тираж 46 000 экз. Зак. № 959. Цена 80 к.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

© Издательство «Высшая школа», 1980

© Издательство «Высшая школа», 1986, с изменениями

Достижения современной науки предоставляют достаточные возможности для возведения экономичных сооружений при одновременном обеспечении надежности их конструкций, элементов и соединений. Однако это не нашло еще должного отражения в учебной литературе по сопротивлению материалов для строительных и монтажных специальностей техникумов, что послужило причиной написания данной книги. Ее цель — оказать помощь учащимся в освоении прогрессивных методов расчета элементов строительных конструкций на базе сопротивления материалов и существующих норм, а также подготовить их к последующему, более глубокому изучению строительных конструкций в комплексе.

Учебное пособие включает 185 примеров с решениями, необходимые теоретические сведения, методические указания и приложение со справочным материалом. Примеры имеют не только иллюстративное, но и познавательное назначение. Многие из них содержат дополнительную практическую и научно-теоретическую информацию, выходящую за рамки классических учебников. Такие примеры даны петитом.

Большинство примеров связано со строительной практикой, поэтому расчет элементов несущих конструкций, согласно СТ СЭВ 384—76 «Строительные конструкции и основания. Основные положения расчета», и такелажной оснастки, согласно Временной инструкции по проектированию, изготовлению и эксплуатации монтажных приспособлений (ВСН 42—74/ММСС СССР), выполняется по предельным состояниям.

Второе издание пособия отражает главным образом изменения и дополнения, внесенные в Строительные нормы и правила (СНиП) с момента выхода в свет первого издания и направленные на реализацию постановлений партии и правительства по снижению материалоемкости и стоимости строительства.

В расчетах элементов металлических конструкций более полно используются прочностные свойства строительных сталей благодаря дифференцированному назначению расчетных сопротивлений в зависимости от марки стали, группы прочности, вида проката и его толщины.

Существенно переработана методика расчета сварных соединений в направлении снижения массы наплавленного металла.

В расчетах на прочность элементов болтовых конструкций предусмотрена возможность развития пластических деформаций в ослабленных сечениях. Дальнейшее развитие и совершенствование получила методика расчета на прочность балок в упругопластической стадии работы материала.

Введен расчет неразрезных балок, вследствие чего материал, посвященный рассмотрению статически неопределимых балок, выделен в специальную главу.

При расчете центрально-сжатых металлических стержней на устойчивость используются аналитические зависимости по определению коэффициента продольного изгиба, которые справедливы для стального проката с любым расчетным сопротивлением.

Перевод строительных норм на Международную систему единиц (СИ) предъявил ряд новых требований, которые не нашли отражения в предыдущем издании. Расчетные формулы и входящие в них коэффициенты приведены к виду, пригодному для использования любой системы единиц физических величин, т. е. размерность всех параметров согласована.

Применены новые буквенные обозначения геометрических, физико-механических и других величин, отвечающие СТ СЭВ 1565—79 «Нормативно-техническая документация в строительстве. Буквенные обозначения», который введен в действие в качестве государственного стандарта СССР. Поскольку внедрение этого стандарта в отечественную практику вызывает пока существенные трудности, особенно в части использования латинских индексов вместо русских, понятных широкому кругу читателей, в приложение к книге включено подробное разъяснение основных буквенных обозначений.

По вопросам, не нашедшим отражения в пособии, но непосредственно примыкающим к рассматриваемым, в тексте имеются ссылки на литературные источники, список которых приведен в конце книги.

Автор выражает глубокую признательность доц. Л. Н. Курек за развернутую рецензию рукописи второго издания пособия и с благодарностью примет критические замечания читателей, направленные на дальнейшее улучшение книги.

Замечания и пожелания направлять по адресу: 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., 29/14.

Автор

ГЛАВА I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

§ 1. Задачи расчета элементов конструкций

Надежность и долговечность конструкций и сооружений в сочетании с рациональным использованием материала могут быть обеспечены только при тщательном исследовании прочности и жесткости их элементов. Под прочностью понимают способность твердого тела воспринимать, не разрушаясь, внешние воздействия, под жесткостью — способность противостоять им без существенного изменения формы и размеров. Однако важнейшее требование строительной техники — обеспечение прочности сооружения при наименьшей затрате материала — содержит в себе противоречие, поскольку повышение прочности достигается чаще всего увеличением поперечных размеров конструктивных элементов, в то время как экономия материала заставляет стремиться к уменьшению тех же самых размеров. В этом проявляется один из важнейших законов марксистской диалектики — закон единства и борьбы противоположностей.

Чтобы разрешить это противоречие, в каждом конкретном случае следует установить *оптимальные* размеры, т. е. размеры, при которых прочность обеспечивается без излишних запасов и, таким образом, удовлетворяется экономическая сторона вопроса. Для этого необходимо выяснить, какие нагрузки действуют на рассматриваемый элемент, вычислить вызываемые ими опорные реакции, определить внутренние силы, представляющие собой результат физического взаимодействия частиц, из которых состоит элемент, и, наконец, выбрать такие его размеры, чтобы внутренние силы не превышали опасных значений.

Итак, *определение оптимальных геометрических размеров элемента конструкции, обеспечивающих его прочность при заданном распределении внешних сил*, составляет первую задачу расчета, осуществляемого в рамках сопротивления материалов.

Однако проблема прочности чрезвычайно сложна. Основная трудность заключается в несоответствии между в общем точными методами определения внутренних сил и последующими, часто весьма грубыми, оценками прочности. Такое положение объясняется тем, что разрушение тела зависит от множества факторов, не всегда изученных и не всегда даже известных. Большую роль играет структура материала, которая может быть неоднородной и нестабильной. Существенно влияние условий эксплуатации — характера нагрузок, температурного режима, агрессивности среды и т. д. Материалы содержат многочисленные повреждения, начиная от микроскопических дефектов и кончая крупными порами и магистральными трещинами. Лишь в последнее время стали успешно развиваться основы физических теорий разрушения твердого тела, и сейчас не всегда возможно даже качественное объяснение ряда особенностей процесса разрушения. Поэтому для количественной оценки прочности технических материалов вообще и строительных в частности эти теории пока не используются или используются очень мало.

Отсюда естественным выглядит подход к проблеме прочности с позиций разработки прикладных решений. Его значение особенно возросло в связи с развитием техники и появлением новых материалов. Такой подход осуществляется в двух направлениях: изучение механических свойств материалов (так называемая «прочность материалов») и исследование прочности элементов конструкций («конструктивная прочность»).

Комплекс научных дисциплин, связанных в той или иной степени с расчетами на прочность, принято относить к разделу теоретической физики, называемому механикой сплошной среды. В отличие от классической механики, имеющей дело с равновесием и движением материальных точек и систем материальных точек, для построения механики реальных сред — твердых, жидких и газообразных — теоремы общего характера приходится дополнять физическими законами или гипотезами о взаимодействии точек, составляющих систему.

Простейшей гипотетической системой является абсолютно твердое тело, т. е. система материальных точек, расстояния между которыми неизменны. В природе такое тело не существует, это некоторая абстракция, позволяющая выделить из всего многообразия свойств реального тела одно — наблюдаемое в определенных усло-

виях постоянство формы и геометрических размеров. «От живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике — таков диалектический путь познания истины, познания объективной реальности»*. Смысл этого положения состоит в том, что, образуя абстракции, создавая научные понятия о предметах, человек обретает способность разумно действовать.

Материальная точка и абсолютно твердое тело являются объектом теоретической механики**. В тех случаях, когда деформации тела несущественны и ими можно пренебречь, выводы теоретической механики оказываются точными и вполне достаточными. Например, опорные реакции статически определимых балок, усилия в стержнях статически определимых ферм находят из уравнений статики так, как если бы указанные конструкции были абсолютно жесткими. При рассмотрении грузоподъемных механизмов обычно пренебрегают деформациями звеньев, которые изготовляют весьма жесткими. Поэтому скорости и ускорения, вычисленные по правилам кинематики, точно соответствуют действительным.

Однако постановка вопроса о расчете абсолютно твердого тела на прочность лишена смысла, поскольку в самой терминологии заложена идея неразрушимости и отсутствия каких бы то ни было деформаций. В то же время существует обширный класс систем, которые принципиально не могут быть рассчитаны без допущения возможности их деформирования (так называемые «статически неопределимые системы»). Кроме того, на практике нередко приходится ограничивать деформации, чрезмерное развитие которых способно вызвать недопустимые перемещения и воспрепятствовать нормальной эксплуатации конструкции или сооружения. Таким образом, выявляется вторая задача расчета, которая имеет два аспекта: 1) *определение перемещений с целью раскрытия статической неопределимости*; 2) *обеспечение жесткости элементов конструкций*.

Третья задача связана с расчетом на *устойчивость*, под которой понимают способность тела (элемента) сохранять под нагрузкой свою первоначальную

* В. И. Ленин. Философские тетради. Конспект книги Гегеля «Наука логики». — Полн. собр. соч., т. 29, с. 152—153.

** Здесь имеется в виду традиционное понимание термина «теоретическая механика», укоренившееся в учебной литературе. Хотя, конечно, механика сплошной среды — это тоже «теоретическая механика».

форму равновесия. Если малое приращение нагрузки вызывает сильное нарастание отклонения тела (элемента) от положения равновесия (выпучивание), то говорят, что тело (элемент) потеряло устойчивость. Вопрос обеспечения устойчивости возникает при расчете тонких сжатых элементов и ему уделяется особое внимание, поскольку потеря устойчивости может происходить при нагрузках, безопасных с точки зрения прочности или жесткости.

Итак, *общей задачей расчета, осуществляемого с позиций сопротивления материалов, является обеспечение прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкций и сооружений при одновременном удовлетворении требований долговечности и экономичности.*

Необходимость доведения любого расчета до конечного числового результата часто заставляет прибегать к различным упрощениям, справедливость которых подтверждается экспериментально или путем математического анализа. Поэтому решение задач механики можно разбить на три этапа: упрощение сложной физической задачи до такой степени идеализации, что она формулируется математически; решение этой чисто математической задачи; анализ полученных результатов с точки зрения поставленной физической задачи. Нередко учащиеся обращают основное внимание на второй этап и тем самым теряют связь между решением и физическим смыслом задачи. В практической деятельности следует стремиться не столько к применению сложных математических выкладок, сколько к глубокому вниманию в сущность исследуемых физических явлений и их упрощенному расчетному моделированию (схематизации).

§ 2. Реальный объект и его расчетные схемы. Основные допущения о свойствах материалов и характере деформирования

Расчет конструкций с учетом всего многообразия механических свойств твердого тела, точных геометрических размеров, строгого взаимодействия отдельных элементов является или теоретически невозможным, или практически неприемлемым по своей сложности. Следовательно, перед расчетом необходимо провести схематизацию конструкции и отбросить второстепенные факторы, которые не влияют сколько-нибудь заметным образом

на достоверность и требуемую степень точности расчета.

Так, при расчете грузоподъемного крюка 1 (рис. 1, а) в первую очередь надо учесть вес G_1 поднимаемого груза (железобетонной колонны 4) и вес G_2 траверсы* 2, рассматривая их как единое абсолютно твердое тело, воздействие которого сводится к суммарной силе $F = G_1 + G_2$, приложенной к крюку (рис. 1, б). В то же время следует отбросить такие несущественные факторы, как собственный вес канатов 3, сопротивление воздуха поднимаемой траверсы и т. д.

Расчетной схемой называется упрощенная, идеализированная схема, которая отражает наиболее существенные особенности реального объекта (конструкции или отдельного элемента), определяющие его поведение под нагрузкой. Выбор расчетной схемы является сложным и ответственным шагом. От него зависит прежде всего качество расчета. Расчет по неправильно выбранной схеме не может быть достоверным даже при использовании самых точных методов. Если для расчета крюка вес груза и траверсы можно принять за единое воздействие, то при расчете самой траверсы ее уже нельзя рассматривать как абсолютно твердое тело. Здесь требуется иная схематизация (см., напри-

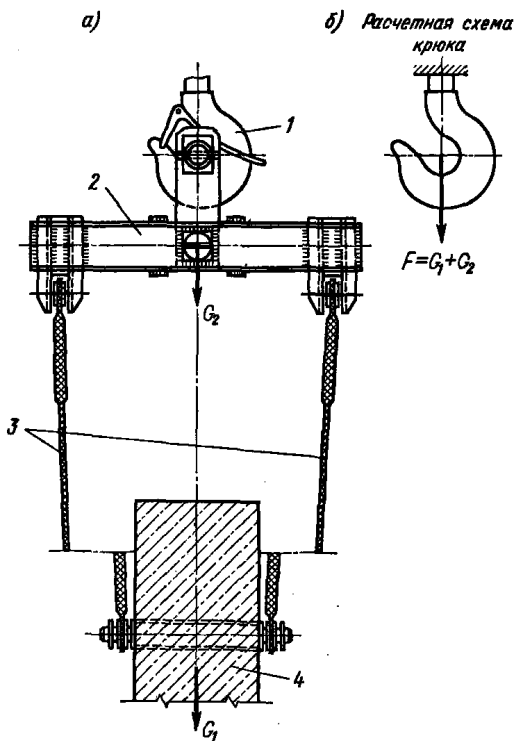


Рис. 1

* Траверса — жесткое монтажное приспособление для подъема элементов конструкций и оборудования. В рассматриваемом случае она призвана обеспечить вертикальное положение колонны во время монтажа.

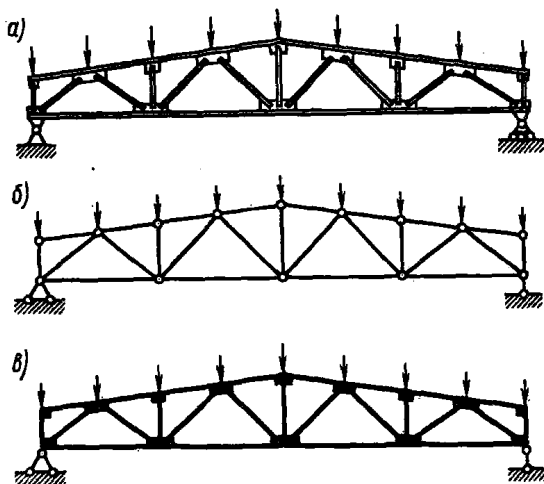


Рис. 2

мер, рис. 161), и жесткость траверсы должна быть подтверждена соответствующим расчетом.

Таким образом, в зависимости от поставленной задачи расчетная схема может видоизменяться. Отказываясь от того или иного упрощения или заменяя его менее грубым, можно получить более точную расчетную схему. Например, ферму (рис. 2, а) обычно рассчитывают как шарнирно-стержневую систему, все элементы которой работают на осевое растяжение-сжатие (рис. 2, б). Такое допущение, при котором все узлы принимаются шарнирными, противоречит действительной конструкции фермы, но довольно точно отражает фактическую работу ее элементов*. Можно отказаться от гипотезы идеальной шарнирности узлов и считать взаимное соединение концов стержней абсолютно жестким (рис. 2, в). Это предположение также не соответствует действительности, хотя значительно меньше, чем гипотеза шарнирности, однако оно значительно усложняет расчет.

Сравнивая результаты, полученные при использовании обеих расчетных схем, можно установить предел

* Во второй половине XIX в. американская строительная техника встала на глубоко неверный путь приближения конструкции ферм к их расчетной схеме, заменив жесткие узлы болтовыми шарнирами. Такие фермы имели пониженную жесткость и требовали непрерывного наблюдения и ухода, поскольку их узлы постоянно расстраивались. Это один из примеров неправильного понимания взаимосвязи между конструкцией и ее расчетной схемой.

допустимости более простой схемы. Точные расчеты показывают, что расчетная схема фермы как шарнирно-стержневой системы становится тем менее приемлемой, чем больше жесткость стержней. В том случае, когда ферма состоит из сравнительно коротких стержней мощного сечения, гипотеза шарнирности узлов становится чересчур грубой. Следовательно, для каждой расчетной схемы существует граница, за которой она становится неприемлемой.

Так как и сами рассчитываемые конструкции, и условия их работы разнообразны, определенных рецептов в области составления расчетных схем не существует. Конструктор принимает схему, соответствующую требованиям расчета, по своему усмотрению, и на его ответственности лежит решение вопроса о том, какие условия важны для проводимого расчета, а какие могут быть оставлены без внимания.

В целях упрощения теории расчета конструкций и их элементов приходится вводить ряд допущений о свойствах материалов и характере деформирования.

1-е допущение. *Материал представляет собой однородную сплошную среду.* Предположение об однородности позволяет отвлечься от структурных особенностей материала и считать, что любой объем, выделенный из тела (конструкции), воспринимает часть общей нагрузки, приходящейся на все тело (конструкцию). Такое предположение, строго говоря, не соответствует действительности, поскольку оно противоречит молекулярно-атомистическому воззрению на строение вещества. К тому же большинству конструкционных материалов присуща неоднородность на уровне гораздо более крупных частиц, чем атомы или молекулы. Так, например, строительная сталь при нормальной температуре состоит из двух компонентов: феррита и цементита. Феррит — почти чистое железо, имеющее в небольшом количестве растворенный углерод и другие химические элементы, — образует в стали хаотично ориентированные зерна (кристаллиты*) площадью 2000...6000 мкм². Цементит — карбид железа (Fe_3C) — образует с ферритом смесь (перлит), заполняющую главным образом участки между зернами

* Однородное твердое тело, имеющее форму правильного многогранника, атомы которого расположены в определенном порядке и образуют пространственную решетку, называется кристаллом. Неполный кристалл, т. е. кристалл с неправильными границами, называется кристаллитом.

феррита. Работа стали зависит от соотношения этих двух компонентов. Чем меньше зерно, тем равномернее перлит распределен по объему стали, тем более упорядочена в среднем взаимная ориентация зерен и тем больше оснований считать сталь однородным материалом, несмотря на неоднородность ее микроструктуры*.

Заведомо неоднороден такой материал, как бетон. Он состоит из бессистемно разбросанных зерен заполнителя (гравия, щебня, керамзита, шлака, песка и пр.) различной крупности и формы, которые скреплены цементной массой или другим вяжущим веществом. Но размеры бетонных элементов (как, впрочем, и стальных) велики по сравнению с размерами зерен, поэтому практически и бетон можно считать в среднем однородным (квазиоднородным**).

Предположение об однородности материала неотделимо от понятия сплошной среды, т. е. среды, непрерывно (без пустот) заполняющей отведенный ей объем. Свойство непрерывности позволяет использовать в расчетах методы анализа бесконечно малых величин (дифференциальное и интегральное исчисления). Обычно сплошную среду принимают *изотропной*, полагая, что физико-механические свойства любого выделенного из нее тела одинаковы по всем направлениям. Благодаря мелкозернистой структуре квазиизотропны макрообъемы стали, хотя отдельно взятые кристаллиты феррита (микрообъемы) анизотропны.

В некоторых случаях предположение об изотропии неприемлемо. К анизотропным материалам относится древесина, прочность и деформативность которой зависят от направления усилия по отношению к расположению волокон и годовичных слоев. Анизотропны конструкционные пластические массы (стеклопластики, органическое стекло, винилпласты, пенопласты, сотовые пластики и др.), у которых изменчивость механических свойств обусловлена неоднородностью структуры и спецификой изготовления.

2-е допущение. *Материал до определенного предела нагружения работает упруго. Упругостью называют-*

* Микроструктура — кристаллическое строение материала, обнаруживаемое с помощью микроскопа (в отличие от макроструктуры — строения, видимого невооруженным глазом или при малом увеличении).

** Квази — приставка, означающая «якобы», «мнимый».

ся способность материальных тел восстанавливать первоначальную форму и размеры после снятия нагрузки. Отсюда деформации, полностью исчезающие после снятия нагрузки, соответственно называются *упругими* в отличие от *пластических*, или остаточных, которые не исчезают.

Изучение поведения упругих тел произвольной формы, нагруженных произвольными силами, составляет предмет той ветви механики твердого деформируемого тела, которую называют *теорией упругости* или *математической теорией упругости*. Последним термином обычно хотят подчеркнуть, что в пределах упругой работы материала определение усилий и деформаций является строго поставленной математической задачей, решение которой получается в результате интегрирования одного или нескольких дифференциальных уравнений.

Методы теории упругости, при всей их общности и точности, еще не дают возможности судить о несущей способности или пригодности к эксплуатации реальных конструкций. К тому же строгая постановка вопроса об определении усилий и деформаций часто приводит к непреодолимым математическим трудностям. Поэтому параллельно с изысканием способов точного решения задач механики деформируемого тела идет развитие *прикладной теории упругости*, в которой кроме предпосылки об идеальной упругости материала вводится ряд дополнительных гипотез и допущений относительно характера деформаций. К прикладному направлению относится *сопротивление материалов*. Эта дисциплина рассматривает одномерные задачи теории упругости, так как изучаемые тела — брусья — имеют один размер (длину l), значительно превышающий два других (поперечные размеры b и h). Для строительной практики характерен *прямой брус* (рис. 3), к форме которого могут быть сведены многие конструктивные элементы. Примером *кривого бруса* служит грузоподъемный крюк (см. рис. 1, б).

Но брусья не исчерпывают геометрическую схематизацию элементов строительных конструкций. На рис. 4, а изображена *оболочка* — тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями, у которого длина l и ширина b велики по сравнению с толщиной t . Если тело при тех же соотношениях размеров ограничено параллельными плоскостями (рис. 4, б), то оно называется

пластиной. К оболочкам относятся стенки сосудов для хранения жидкостей, газов и сыпучих материалов (стенки резервуаров, газгольдеров, бункеров и т. п.), листовые конструкции доменных цехов (кожух доменной печи, воздухонагревателей, пылеуловителя), купола и своды зданий. К пластинам могут быть отнесены плоские днища сосудов, настил рабочих площадок цехов, обшив-ка каркасных кровельных и стеновых панелей.

Тела, у которых все три размера одного порядка, называются массивами. К ним относятся фунда-менты (рис. 4, в), подпорные стенки и т. п.

Определение усилий и деформаций оболочек, пластин и массивов в большинстве случаев неосуществимо мето-дами сопротивления материалов. Подобные задачи мо-гут быть решены только с позиций теории упругости, основные предпосылки которой отличаются большей ши-ротой и не ограничиваются такой формой тела, как брус.

За последнее время возросло значение расчетов строительных конструкций с учетом развития пластиче-ских деформаций. Общие законы поведения твердых тел за пределом упругости устанавливает другая ветвь механики деформируемого тела — *теория пластичности*. В ней, как и в теории упругости, наряду с решением строго поставленных математических задач осуществляют-ся разработка упрощенных методов расчета путем введения дополнительных гипотез физического или геом-етрического характера. Круг вопро-сов второго направления составляет содержание *прикладной теории пла-стичности*, развитие которой существенно влияет на совершенствование теории сопротивления материалов. В настоящее пособие включены на-чальные сведения и простейшие зада-чи теории пластических деформаций.

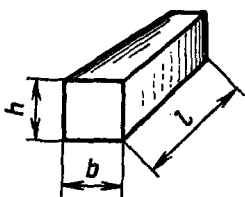


Рис. 3

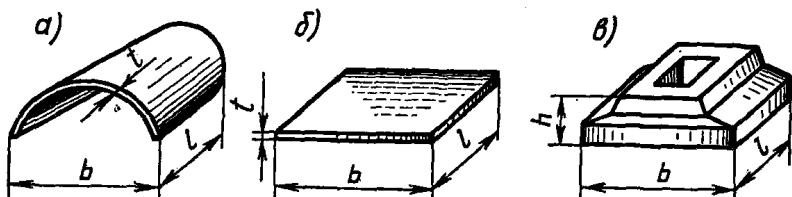


Рис. 4