

Высшее профессиональное образование
БАКАЛАВРИАТ

В. В. БАБАНОВ

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

В ДВУХ ТОМАХ

Том 1

*Учебник для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлению
«Строительство»*

2-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 624.04(075.8)
ББК 38.11я73
Б121

Рецензенты:

проф. кафедры теоретической и строительной механики Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, д-р техн. наук *В. С. Постоев*;
научный руководитель, проф. ЗАО «Научно-производственная организация «Геореконструкция — Фундаментпроект»», д-р техн. наук *В. М. Улицкий*

Бабанов В.В.

Б121 Строительная механика. В 2 т. Т. 1 : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / В.В. Бабанов. — 2-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 304 с. — (Сер. Бакалавриат).

ISBN 978-5-7695-9298-0

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению бакалавриата «Строительство».

В учебнике изложены основы расчета статически определимых и статически неопределимых систем методом сил на действии неподвижных и подвижных нагрузок. Показано использование матричного аппарата. Теоретический материал сопровождается достаточным для практического освоения дисциплины количеством примеров. Содержит необходимый для решения задач справочный материал.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 624.04(075.8)
ББК 38.11я73

Учебное издание

Бабанов Владимир Владимирович

Строительная механика

В двух томах

Том 1

2-е издание, стереотипное

Редактор *И. В. Могилевец*. Технический редактор *О. Н. Крайнова*

Компьютерная верстка: *Д. В. Федотов*. Корректоры *Н. Л. Котелина, Я. А. Шебалина*

Изд. № 102113529. Подписано в печать 31.05.2012. Формат 60 × 90/16.

Гарнитура «Newton». Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 19.

Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 26б.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.

Тел./факс: (495)648-0507, 616-0029.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16067 от 06.03.2012.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page — www.tverprk.ru Электронная почта (E-mail) — sales@tverprk.ru

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

© Бабанов В.В., 2011

ISBN 978-5-7695-9298-0 (т. 1) © Образовательно-издательский центр «Академия», 2011

ISBN 978-5-7695-9297-3 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемом курсе основное внимание уделено расчету стержневых систем, на примере которых можно объяснить основные методы расчета конструкций на различные виды воздействий. Доскональное знание методов расчета сооружений позволит будущему инженеру применить их и к расчету более сложных расчетных схем.

Наряду с классическими методами расчета изложены основы метода конечных элементов, который позволяет определять напряженно-деформированное состояние широкого класса систем, в состав которых помимо стержней входят элементы других типов (пластины, оболочки, массивные тела).

В основу учебника положен курс строительной механики, читаемый на кафедре строительной механики Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета.

ВВЕДЕНИЕ

Предмет и задачи строительной механики

Одной из основных задач при проектировании сооружений является обеспечение их достаточной, но не излишней надежности на заданный срок эксплуатации.

Памятники архитектуры, пережившие тысячелетия, создавались древними строителями с большим запасом прочности. Они определяли формы и размеры сооружений чаще всего экспериментально или использовали строительный опыт предшествующих поколений. Доброкачественность сооружений проверялась самой жизнью.

В настоящее время многообразие форм сооружений не позволяет опираться только на опыт проектирования сооружений. Потребность строить быстро, прочно и экономно определяет необходимость выполнения грамотных и отвечающих действительной работе сооружений расчетов. Поэтому существенное значение принимают расчеты на прочность, жесткость и устойчивость любого возводимого сооружения.

Целью расчетов на прочность и устойчивость является обеспечение достаточной, но не излишней безопасности сооружений, т. е. сочетание долговечности с экономичностью.

Целью расчета на жесткость является устранение возможности появления значительных деформаций сооружения или его элементов (прогибов, осадок, вибраций), которые могут быть и не опасны для самого сооружения, но не приемлемы по эксплуатационным или эстетическим требованиям.

Методы расчета сооружений на прочность, жесткость и устойчивость изучаются в курсе строительной механики.

Строительная механика, базируясь на основных положениях теоретической механики и сопротивления материалов, изучает вопросы прочности, жесткости и устойчивости расчетных схем сооружений как совокупности элементов под влиянием различных видов внешних воздействий.

Расчет (даже приближенный) позволяет инженеру оценить внутреннее состояние конструкции, рассмотреть взаимосвязь ее элементов, сознательно изменить условия их работы путем рационального распределения материала и выбора размеров и форм сечений. Последнее, в свою очередь, дает неограниченные возможности для

творчества в формообразовании, так как не существует такой методики, которая бы позволила сразу определить наиболее оптимальный вариант конструкции, пригодной для конкретного задания при проектировании.

Краткий очерк развития строительной механики

Строительной механикой называется наука о расчете сооружений на прочность, жесткость и устойчивость. При этом в строительной механике изучаются не сами сооружения, а их идеализированные представления, называемые расчетными схемами. В отличие от курсов сопротивления материалов и теории упругости, где изучается напряженно-деформированное состояние отдельных элементов расчетной схемы, строительная механика изучает совокупность этих элементов, т. е. составные объекты.

Одним из создателей статики был великий ученый античного мира Архимед (322 — 287 гг. до н. э.), который точно решил задачу равновесия рычага, создал учение о центре тяжести и вычислял площади, поверхности и объемы различных тел на основании разработанных им методов.

Великий ученый эпохи Возрождения Леонардо да Винчи (1452 — 1519) ввел в механику понятие момента силы относительно точки и установил, что сила трения скольжения не зависит от величины поверхности соприкосновения трущихся тел. Первые дошедшие до нас сведения о прочности также связаны с его именем.

Основы кинематики, динамики и науки о прочности были заложены Галилео Галилеем (1473 — 1543). В 1638 г. были опубликованы его «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки», содержащие основы новых наук о прочности и динамике. Он первым сделал попытку рассчитать нагрузку, которую может выдержать балка.

Первое систематическое изложение статики приведено в сочинении «Новая механика» (1687 г.) Пьером Вариньоном (1722 — 1654).

В 1686 г. вышел в свет трактат Исаака Ньютона (1643 — 1727) «Математические начала натуральной философии», в котором были изложены аксиомы механики и установлены основные понятия: масса, время, пространство, сила.

Основы науки о прочности (сопротивление материалов) интенсивно разрабатывались в течение XVII — XVIII вв., когда были изучены растяжение и сжатие, сдвиг, изгиб и кручение круглого бруса.

Роберт Гук (1635 — 1703) установил закон о прямой пропорциональной зависимости между нагрузкой и удлинением при растяжении.

Якоб Бернулли (1654 — 1705) составил уравнение изогнутой оси бруса.

Леонард Эйлер (1707 — 1783) создал теорию продольного изгиба центрально-сжатого стержня.

Шарль Кулон (1736 — 1806) разработал теорию кручения круглого бруса.

Позже в этой области плодотворно работали К. Кульман, Б. Сен-Венан, Д. К. Максвелл, Б. П. Клапейрон, О. Мор, Е. Бетти, Л. Навье и др.

Значительные достижения науки о сопротивлении материалов связаны с именами русских ученых и инженеров.

М. В. Ломоносов (1711 — 1765) и И. П. Кулибин (1733 — 1818) в своих трудах заложили прочные теоретические основы для создания строительной механики, которая как самостоятельная наука выделилась из общей механики в первой половине XIX в.

Д. И. Журавский (1821 — 1891) впервые разработал теорию расчета мостовых ферм как шарнирно-стержневых систем и создал теорию касательных напряжений при изгибе.

Ф. С. Ясинский (1856 — 1899) разработал основы расчета стержней на устойчивость.

Существенное развитие теория расчета ферм получила в трудах инженеров-мостовиков Н. А. Белелюбского (1845 — 1922) и Л. Д. Проскуракова (1858 — 1926).

Большую роль в развитии отдельных разделов строительной механики (графостатики, основ теории статически неопределимых систем и др.) сыграли работы В. Л. Кирпичева (1845 — 1913).

В истории отечественной науки и техники видное место занимает инженер-изобретатель В. Г. Шухов (1853 — 1939), обосновавший методику расчета и разработавший конструкции сетчатых и сводчатых покрытий.

Технический XX в. дал новый импульс развитию строительной механики.

Значительное развитие получила теория расчета сложных статически неопределимых систем в трудах П. Л. Пастернака, И. П. Прокофьева, А. А. Гвоздева, С. А. Бернштейна, Б. Н. Жемочкина, Н. И. Безухова, Б. Н. Горбунова, И. М. Рабиновича, А. А. Уманского, П. Ф. Попковича, Н. С. Стрелецкого, В. А. Киселева, Н. К. Снитко и др.

Большой вклад в развитие теории устойчивости сооружений внесли И. Г. Бубнов, С. П. Тимошенко, А. Н. Динник, Н. В. Корноухов, С. Д. Лейтес, А. Ф. Смирнов, А. Р. Ржаницын, Н. К. Снитко, А. С. Вольмир, Ю. Н. Работнов, А. В. Геммерлинг, Р. Р. Матевосян.

Существенное развитие получили теория колебаний деформируемых тел и методы динамического расчета сооружений в трудах И. М. Рабиновича, К. С. Завриева, А. П. Синицына, Я. Г. Пановко, Б. Г. Коренева, В. В. Болотина, О. В. Лужина и др.

В настоящее время развитие строительной механики идет по пути разработки все более эффективных, имеющих хорошую сходимость и дающих достоверные результаты аналитических и численных методов, ориентированных на широкое применение ЭВМ (А. В. Алексан-

дров, Б. Я. Лашеников, А. М. Масленников, А. Ф. Смирнов, Н. Н. Шапошников и др.).

В решение многочисленных проблем строительной механики большой вклад всегда вносили российские ученые. Они занимают ведущее место в вопросах разработки и применения вероятностных методов расчета и исследовании надежности конструкций (Н. С. Стрелецкий, А. Р. Ржаницын, В. В. Болотин и др.).

Развитие теории оптимизации в строительной механике во многом определяется трудами российских ученых (К. М. Хуберян, Ю. А. Радциг, А. И. Виноградов, А. Н. Раевский и др.).

Таким образом, строительная механика была и остается развивающейся наукой, призванной обеспечить проектировщиков современными методами расчета сооружений, позволяющих совмещать формообразование и оценку прочности, поэлементный расчет и расчет сооружения как единого целого, производить оптимизацию и синтез конструкций.

Все это позволяет проектировать и создавать так необходимые прочные, надежные, долговечные, экономичные и эстетически приемлемые сооружения.

Глава 1

РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ СООРУЖЕНИЙ, ИХ ОБРАЗОВАНИЕ И АНАЛИЗ

1.1. Понятие о расчетной схеме сооружения

Любое сооружение можно рассматривать в виде совокупности твердых тел (элементов), соединенных между собой и работающих как единое целое. Задачей расчета является определение состояния под нагрузкой как всего сооружения, так и отдельных его элементов в целях удовлетворения его условиям прочности, жесткости и устойчивости.

Расчет реального сооружения с учетом всех особенностей его образования, многообразия действующих на него нагрузок и различных физико-механических свойств входящих в него элементов является задачей чрезвычайно сложной. Поэтому при проектировании любого сооружения принимают значительные упрощения, пренебрегая второстепенными факторами, которые заведомо не могут оказать значительного влияния на результаты расчетов. Такой подход приводит к работе не с самим сооружением, а с его моделью, называемой расчетной схемой сооружения.

Расчетная схема сооружения представляет собой идеализированное, упрощенное изображение реального сооружения, отображающее наиболее важные свойства его действительной работы при различных внешних воздействиях.

Выбор расчетной схемы является одним из самых ответственных этапов расчета сооружения. С одной стороны, расчетная схема должна быть выбрана таким образом, чтобы решение задачи стало возможным и практически приемлемым с позиции сложности, а с другой — она должна правильно отражать действительную работу сооружения под нагрузкой и обеспечивать достаточную точность и достоверность расчета.

Для того чтобы правильно выбрать расчетную схему сооружения, т.е. одновременно достаточно простую и точную, необходимо иметь большой опыт в проектировании сооружений и хорошо представлять себе сравнительную важность отдельных элементов поставленной задачи.

В строительной механике на основании инженерного опыта разработаны общие критерии и подходы при выборе расчетных схем сооружений. Они основаны на опробованных приемах идеализации элементов сооружений, физических свойств строительных материа-

лов, условий сопряжения отдельных частей сооружения, способов прикрепления его к основанию, внешних воздействий и т. д.

Все это подробнее будет рассмотрено далее.

1.2. Твердое тело как элемент расчетной схемы

При анализе расчетных схем сооружений и выполнении последующих расчетов полагают, что их отдельные части состоят из *абсолютно твердых* (не изменяющих свою форму) тел, т. е. таких тел, расстояния между двумя любыми точками которых остаются неизменными при любых внешних воздействиях.

В действительности же все тела в природе под действием различных причин несколько изменяют свою форму, т. е. деформируются. Но для твердых тел в большинстве случаев эти изменения настолько незначительны, что ими обычно пренебрегают. Такое абстрагирование от некоторых физических свойств твердого тела является одним из общепринятых упрощений при выборе расчетной схемы сооружения.

Всякое тело имеет три измерения, т. е. является пространственным телом. Если одно из измерений мало по сравнению с двумя другими и им по условию задачи можно пренебречь, твердое тело называется *плоским*, или *диском*.

Удлиненное тело, поперечными размерами которого по сравнению с его длиной можно пренебречь, принято называть *стержнем*, или *брусом*.

Если же все размеры тела бесконечно малы или его размерами можно пренебречь по сравнению с размерами других тел, тело называется *материальной точкой*, или просто *точкой*.

Каждое тело можно рассматривать как совокупность взаимосвязанных материальных точек.

Если тело не имеет никаких закреплений, препятствующих его движению, и не соприкасается с другими телами, оно называется *свободным*. Положение такого тела в пространстве или на плоскости определяется его степенью свободы.

Степенью свободы твердого тела называется число независимых геометрических параметров, определяющих положение тела на плоскости или в пространстве. Положение тела на плоскости или в пространстве можно также определить как количество видов движений, которые может совершать свободное твердое тело.

Так, пространственное твердое тело (рис. 1.1, *а*) может совершать поступательные движения по трем направлениям (например, в направлении осей x , y и z) и три вращательных движения вокруг тех же осей. Таким образом, твердое пространственное свободное тело имеет шесть степеней свободы. Плоское твердое тело (рис. 1.1, *б*) может совершать на плоскости поступательные движения в двух направ-

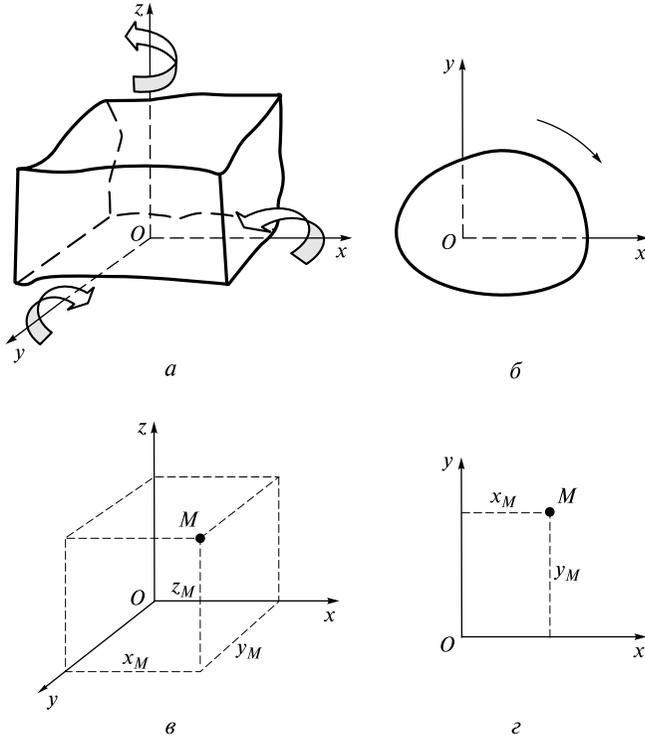


Рис. 1.1

лениях (например, в направлении осей x и y) и одно вращательное движение вокруг какого-либо центра вращения (например, точки O). Следовательно, плоское свободное твердое тело на плоскости имеет три степени свободы. Наконец, положение любой точки (например, точки M) может быть определено в пространстве (рис. 1.1, в) тремя координатами (три степени свободы), а на плоскости (рис. 1.1, г) — двумя (две степени свободы).

Примеры идеализации твердых тел в расчетных схемах сооружений представлены на рис. 1.2.

Прямолинейные стержни сплошного сечения (рис. 1.2, а) представлены в виде осевой линии, соединяющей центры тяжести соседних сечений. В данном случае абстрагируются от описания в расчетной схеме поперечного сечения стержня. В рамках такой же идеализации рассматриваются стержни тонкостенные (рис. 1.2, б) и криволинейные (рис. 1.2, в). Вид плоских тел в расчетных схемах имеют пластины и оболочки (рис. 1.2, г и д). Эти элементы в расчетных схемах изображаются в виде срединной плоскости (для пластин) или срединной поверхности (для оболочек).

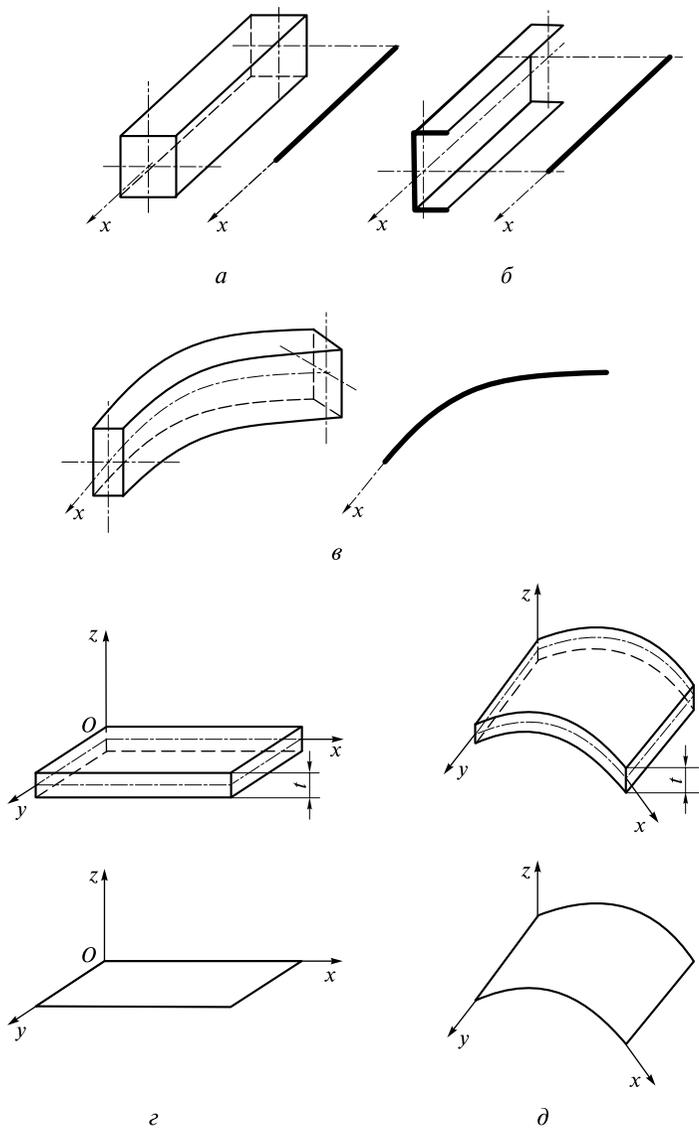


Рис. 1.2

Совокупности указанных элементов и образуют расчетные схемы сооружения, которые в дальнейшем мы будем называть *системами*.

В зависимости от того, из каких элементов состоит расчетная схема (пространственных или плоских), различают пространственные и плоские расчетные схемы.

1.3. Связи и узлы расчетных схем

1.3.1. Связи и узлы плоских расчетных схем

Соединение элементов расчетных схем и прикрепление их к основанию осуществляется при помощи связей.

Связью называется устройство, ограничивающее степень свободы твердого тела. Каждая связь имеет кинематическую и статическую характеристики.

Кинематическая характеристика показывает, каким движениям твердого тела препятствует связь и сколько степеней свободы она уничтожает.

Статическая характеристика показывает, какие реакции и в каком количестве необходимо приложить к твердому телу при удалении связей между телами.

Условно различают связи между телами и связи опорные. Условность заключается в том, что любое основание, на которое опирается расчетная схема, также является твердым телом, но бесконечно большого размера по сравнению с размерами идеализированной схемы сооружения.

Соединение нескольких элементов системы в одной точке принято называть *узлом* расчетной схемы.

Различают три вида связей (С) между дисками (Д) плоских систем.

1. Простая линейная связь (рис. 1.3, а). Кинематическая характеристика: связь препятствует поступательному перемещению одного диска относительно другого по направлению оси связи. Она уничтожает одну степень свободы взаимного перемещения дисков.

Статическая характеристика: действие удаленной связи заменяется реакцией R , направленной по оси связи.

2. Цилиндрический шарнир (рис. 1.3, б). Кинематическая характеристика: связь препятствует поступательным перемещениям одного диска относительно другого. Шарнир (Ш) уничтожает две степени свободы взаимного перемещения дисков. Шарнир эквивалентен двум простым линейным связям, сходящимся в точке соединения дисков (см. рис. 1.3, б).

Статическая характеристика: действие удаленной данного вида связи заменяется двумя взаимно-перпендикулярными реакциями V и H .

Если два диска соединены двумя линейными связями, оси которых пересекаются за пределами соединения, точка их пересечения называется *фиктивным шарниром* (рис. 1.3, в). В этом случае при удалении связей их действие заменяется двумя линейными реакциями R_1 и R_2 .

3. Жесткое соединение дисков (рис. 1.3, г). Кинематическая характеристика: жесткое соединение препятствует всем трем взаимным перемещениям соединяемых дисков, т. е. не допускает ни поступа-

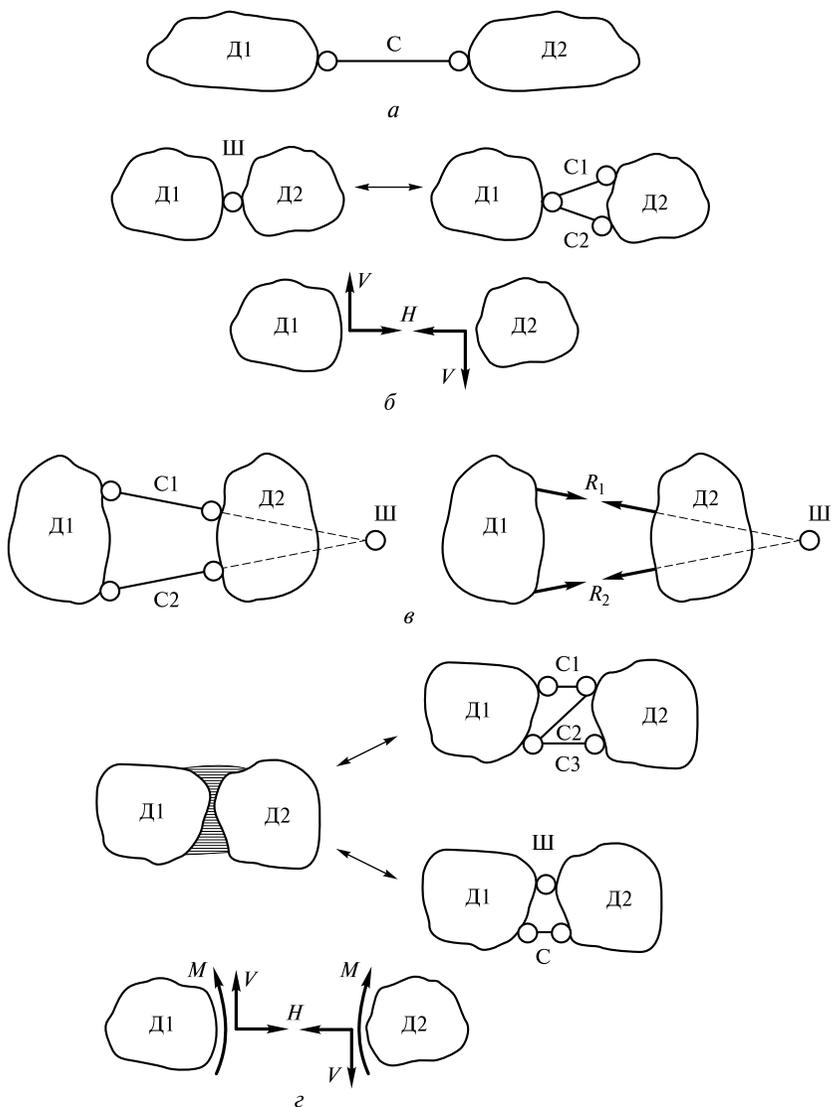


Рис. 1.3

тельных перемещений, ни вращения одного диска относительно другого. Связь уничтожает три степени свободы взаимного перемещения дисков, два диска соединяет в одно целое — в один диск.

Связь эквивалентна трем не параллельным и не сходящимся в одной точке линейным связям или шарниру и одной линейной связи (см. рис. 1.3, з).

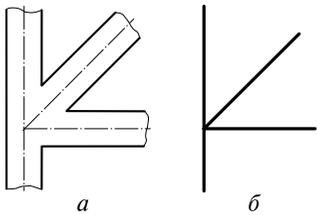


Рис. 1.4

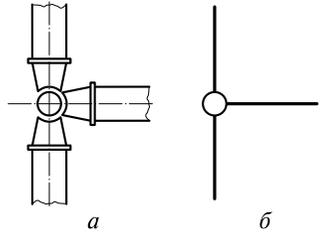


Рис. 1.5

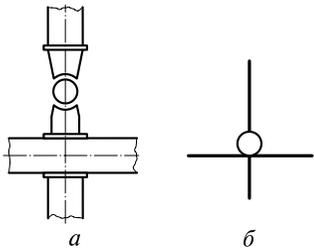


Рис. 1.6

Статическая характеристика: действие удаленной связи данного вида заменяется парой M и двумя взаимно-перпендикулярными реакциями V и H или тремя реакциями R_1 , R_2 и R_3 , линии действия которых не сходятся в одной точке.

В системах, составленных из стержней, различают узлы жесткие (рис. 1.4), шарнирные (рис. 1.5) и комбинированные (рис. 1.6). На рис. 1.4, a , 1.5, a и 1.6, a изображены соответственно конструктивные схемы узлов, а на рис. 1.4, b , 1.5, b и 1.6, b — расчетные.

Шарнир, соединяющий два диска, называется *простым*. Он может быть сквозным (рис. 1.7, a) или в комбинированном узле при замыкающем (рис. 1.8, a).

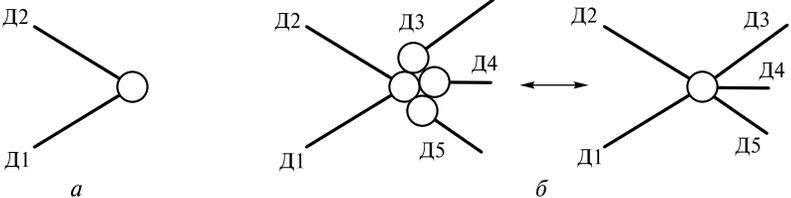


Рис. 1.7

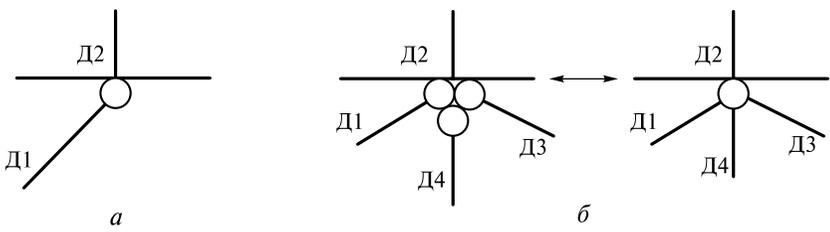


Рис. 1.8

Таблица 1.1

Типы опорных связей плоских расчетных схем

Наименование опоры	Конструктивная схема	Расчетная схема	Опорные реакции
Цилиндрическая шарнирно-подвижная опора		Основная Варианты 	
Цилиндрическая шарнирно-неподвижная опора		Основные Варианты 	
Полное защемление		Основная Вариант 	
Подвижные защемления		Основная Вариант Основная Вариант 	

Сквозные или примыкающие шарниры могут быть к р а т н ы м и. Для присоединения каждого последующего диска необходим один простой шарнир, поэтому в каждом кратном шарнире число простых шарниров будет на единицу меньше числа соединяемых в узле дисков: $\text{Ш} = \text{Д} - 1$ (рис. 1.7, б и 1.8, б).

Прикрепление системы к основанию (земле) производится связями, которые называются *опорными*.

В расчетных схемах плоских систем используются идеализированные схемы опорных связей, конструктивные и расчетные схемы которых показаны в табл. 1.1.

Цилиндрическая шарнирно-подвижная опора. Кинематическая характеристика: связь препятствует поступательному перемещению по нормали к опорной плоскости, разрешает свободный поворот вокруг цилиндрического шарнира и поступательное перемещение параллельно опорной плоскости, т.е. эквивалентна простой линейной связи.

Статическая характеристика: действие удаленной связи заменяется реакцией R , направленной по оси связи.

Цилиндрическая шарнирно-неподвижная опора. Кинематическая характеристика: связь препятствует поступательным перемещениям на плоскости, разрешает свободный поворот вокруг цилиндрического шарнира, т.е. эквивалентна цилиндрическому шарниру.

Статическая характеристика: действие удаленной данного вида связи заменяется двумя взаимно-перпендикулярными реакциями V и H .

Полное защемление (заделка). Кинематическая характеристика: связь препятствует любым перемещениям на плоскости, т.е. эквивалентна жесткому соединению дисков.

Статическая характеристика: действие удаленной связи данного вида заменяется парой силой M и двумя взаимно-перпендикулярными реакциями V и H .

Подвижное защемление. Кинематическая характеристика: связь препятствует поступательному перемещению по нормали к опорной плоскости, повороту вокруг опорной точки и разрешает поступательное движение параллельно опорной плоскости, т.е. эквивалентна двум параллельным линейным связям, установленным перпендикулярно к опорной плоскости с определенным шагом.

Статическая характеристика: действие удаленной связи данного вида заменяется парой сил M и линейной реакцией R (V или H), направленной перпендикулярно опорной плоскости.

1.3.2. Связи и узлы пространственных расчетных схем

Различают следующие виды наиболее часто встречающихся связей пространственных систем.

Шаровой шарнир, конструктивная и расчетная схемы которого показаны соответственно на рис. 1.9, а и б. Кинемати-

ческая характеристика: связь препятствует поступательным перемещениям соединяемых тел T1 и T2 относительно друг друга в трех взаимно-перпендикулярных направлениях и допускает взаимный поворот в любых направлениях.

Простая линейная, или плоскоподвижная, шаровая связь (рис. 1.10, а), представляющая собой стержень с шаровыми шарнирами по концам. Кинематическая характеристика: связь препятствует взаимному поступательному перемещению соединяемых тел T1 и T2 по направлению оси связи (вдоль оси z), но допускает поступательные перемещения в двух плоскостях, перпендикулярных к оси стержня, и повороты вокруг трех взаимно-перпендикулярных осей; уничтожает одну степень свободы соединяемых тел.

Данная связь является основой образования большинства приведенных далее видов связей. Связи остальных видов являются различными комбинациями нескольких простых линейных связей.

Линейно-подвижная шаровая связь (рис. 1.10, б), представляющая собой два стержня с общим шаровым шарниром. Кинематическая характеристика: связь препятствует взаимным поступательным перемещениям соединяемых тел T1 и T2 в плоскости двух стержней, но допускает поступательное перемещение в направлении, перпендикулярном этой плоскости, и повороты вокруг трех взаимно-перпендикулярных осей; уничтожает две степени свободы соединяемых тел.

Неподвижная шаровая связь (рис. 1.10, в), представляющая собой три стержня, не лежащих в одной плоскости и имеющих

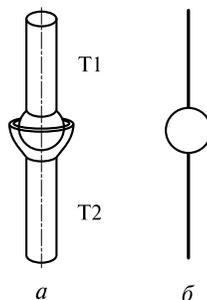


Рис. 1.9

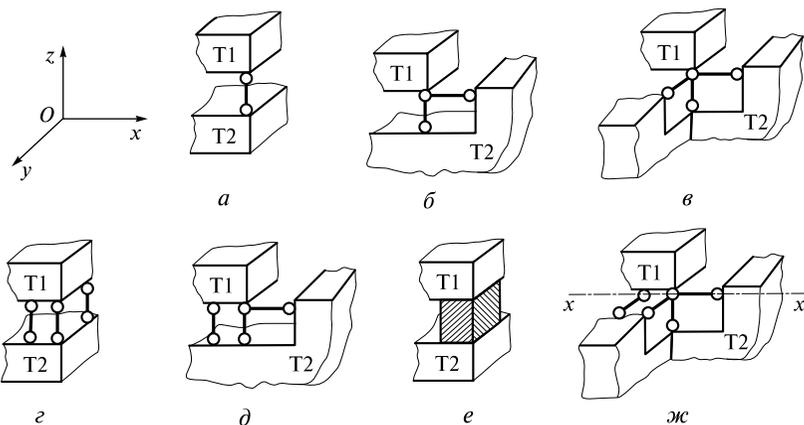


Рис. 1.10

общий шаровой шарнир. Кинематическая характеристика: связь препятствует взаимным поступательным перемещениям соединяемых тел T_1 и T_2 относительно друг друга в трех взаимно-перпендикулярных направлениях. Допускает взаимный поворот в любых направлениях; эквивалентна шаровому шарниру и уничтожает три степени свободы соединяемых тел.

Плоскоподвижная связь с одним поворотом (рис. 1.10, $з$), представляющая собой три параллельных стержня, не лежащих в одной плоскости. Кинематическая характеристика: связь препятствует взаимному поступательному перемещению соединяемых тел T_1 и T_2 вдоль осей стержней и двум поворотам в плоскостях, в которых попарно лежат стержни (вокруг осей x и y), но допускает поступательное перемещение в плоскости, перпендикулярной стержням; уничтожает три степени свободы соединяемых тел.

Линейно-подвижная связь с двумя поворотами (рис. 1.10, $д$), представляющая собой три стержня в одной плоскости, из которых два параллельны, а третий имеет с одним из них общий шаровой шарнир. Кинематическая характеристика: связь препятствует взаимным поступательным перемещениям соединяемых тел T_1 и T_2 и повороту в плоскости стержней (xOz), но допускает поступательное перемещение по прямой, перпендикулярной плоскости стержней (по оси y), и два поворота (вокруг осей x и z); уничтожает три степени свободы соединяемых тел.

Жесткое соединение (рис. 1.10, $е$). Кинематическая характеристика: связь препятствует всем взаимным смещениям соединяемых тел T_1 и T_2 относительно друг друга; уничтожает все шесть степеней свободы соединяемых тел и превращает их в одно неизменяемое целое.

Кроме перечисленных простых связей возможны и более сложные, получаемые добавлением к простым связям дополнительных соединительных стержней. Например, если к связи, показанной на рис. 1.10, $в$, добавить два стержня, препятствующих повороту вокруг двух осей, получится *цилиндрический шарнир*, допускающий поворот только вокруг оси x , проходящей через шаровые шарниры по концам пяти стержней (рис. 1.10, $ж$).

Связи пространственных расчетных схем, представленные на рис. 1.10, являются узлами соединения двух тел. При соединении нескольких тел (чаще всего стержней) узлы пространственных расчетных схем, так же как и плоских, могут быть жесткими, шарнирными и комбинированными.

Примеры удаления связей между телами пространственных расчетных схем, характеризующие их статические характеристики, показаны на рис. 1.11:

- удаляемая плоскоподвижная (простая линейная) связь (рис. 1.11, $а$) заменена реакцией R ;
- удаляемая линейно-подвижная шаровая связь (рис. 1.11, $б$) заменена реакциями V_z и H_x ;

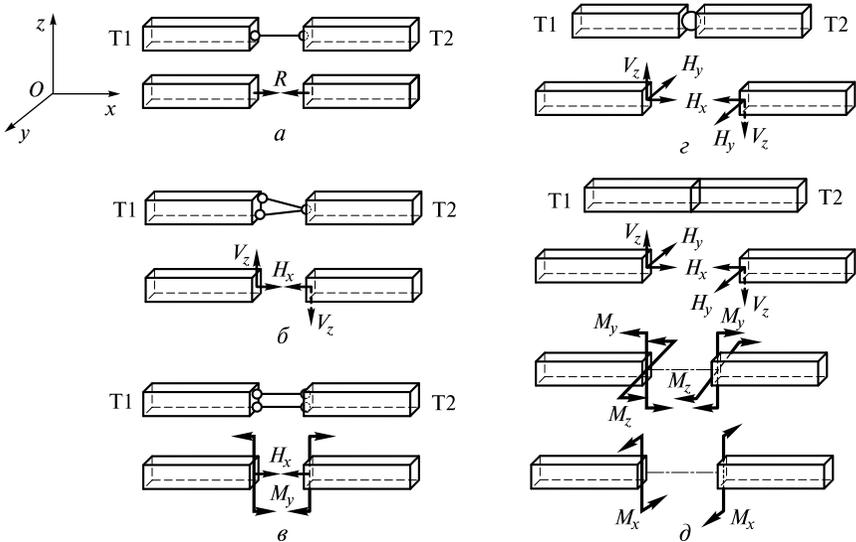


Рис. 1.11

- удаляемая плоскоподвижная связь с двумя поворотами (рис. 1.11, а) заменена реакциями M_y и H_x ;
- удаляемая неподвижная шаровая связь (рис. 1.11, б) заменена реакциями V_z , H_x и H_y ;
- удаляемое полное защемление (рис. 1.11, в) заменено реакциями H_x , H_y , V_z и M_x , M_y , M_z (для наглядности линейные и угловые реакции показаны на разных позициях рис. 1.11, в).

Представив одно из соединяемых тел на рис. 1.10 в виде основания, получим опорные связи пространственных расчетных схем.

Наиболее часто применяют следующие типы опорных связей пространственных расчетных схем.

Н е п о д в и ж н а я шаровая опора. Кинематическая характеристика: связь препятствует поступательным перемещениям тела Т относительно основания в трех взаимно-перпендикулярных направлениях. Допускает взаимный поворот в любых направлениях. Эквивалентна шаровому шарниру (см. рис. 1.9).

Л и н е й н о - п о д в и ж н а я шаровая опора. Кинематическая характеристика: связь препятствует поступательным движениям тела Т в двух направлениях. Разрешает поступательное движение в горизонтальной плоскости по нормали к цилиндрическим каткам и повороты во всех направлениях. Эквивалентна линейно-подвижной шаровой связи (см. рис. 1.10, б).

П л о с к о п о д в и ж н а я шаровая опора. Кинематическая характеристика: связь препятствует поступательному перемещению тела Т по нормали к основанию. Допускает поступательные перемещения

Таблица 1.2

Типы опорных связей пространственных расчетных схем

Наименование опоры	Конструктивная схема	Расчетная схема	Опорные реакции
Неподвижная шаровая опора			
Линейно-подвижная шаровая			
Плоско-подвижная шаровая опора			
Полное защемление			

в плоскости основания и повороты в любых направлениях. Эквивалентна плоскоподвижной шаровой связи (см. рис. 1.10, *a*).

Полное защемление. Кинематическая характеристика: связь препятствует всем смещениям тела T относительно основания. Эквивалентна жесткому соединению (см. рис. 1.10, *ж*).

Примеры удаления перечисленных опорных связей пространственных расчетных схем, характеризующие их статические характеристики, показаны в табл. 1.2.

1.4. Классификация расчетных схем

Классифицировать расчетные схемы сооружений можно по различным признакам. Рассмотрим классификацию расчетных схем по признакам, положенным в основу их образования.

В зависимости от расположения осей элементов и нагрузок расчетные схемы подразделяются на плоские и пространственные.

По виду элементов, образующих сооружение, различают:

- стержневые расчетные схемы, образующими элементами которых являются стержни (см. рис. 1.2, *a — в*);
- тонкостенные расчетные схемы, образующими элементами которых являются тонкие плиты и оболочки (см. рис. 1.2, *г, д*);
- схемы массивных сооружений, т.е. сооружений, у которых все три размера одного порядка.

Расчетные схемы плоских стержневых систем показаны на рис. 1.12.

Балки. Простейшая расчетная схема, являющаяся, как правило, элементом сооружения. Балки могут быть однопролетными с различными условиями закрепления (рис. 1.12, *a — г*) и многопролетными. Многопролетные балки, в свою очередь, могут быть разрезными (рис. 1.12, *д*), состоящими из нескольких дисков, и неразрезными (рис. 1.12, *e*), состоящими из одного диска.

Арки. Предназначены для перекрытия больших пролетов. Арки могут быть трехшарнирными (рис. 1.12, *ж*), двухшарнирными (рис. 1.12, *з*) и бесшарнирными (рис. 1.12, *и*).

Балочные фермы. По своей сути являются заменой одного бруса простой балки (см. рис. 1.12, *a*) решетчатой системой стержней, позволяющей перекрывать большие пролеты и более полно использовать материал конструкции. Фермы (рис. 1.12, *к — м*) различаются по очертаниям поясов и типам решетки.

Арочные фермы. Являются развитием арочных расчетных схем (рис. 1.12, *н, o*), в которых криволинейные стержни арки заменены решетчатой системой. Арочные фермы могут быть как криволинейными (см. рис. 1.12, *н*), так и прямоугольными (см. рис. 1.12, *o*).

Вантовые системы. Позволяют перекрывать очень большие пролеты при значительной экономии материала (рис. 1.12, *н, p*).

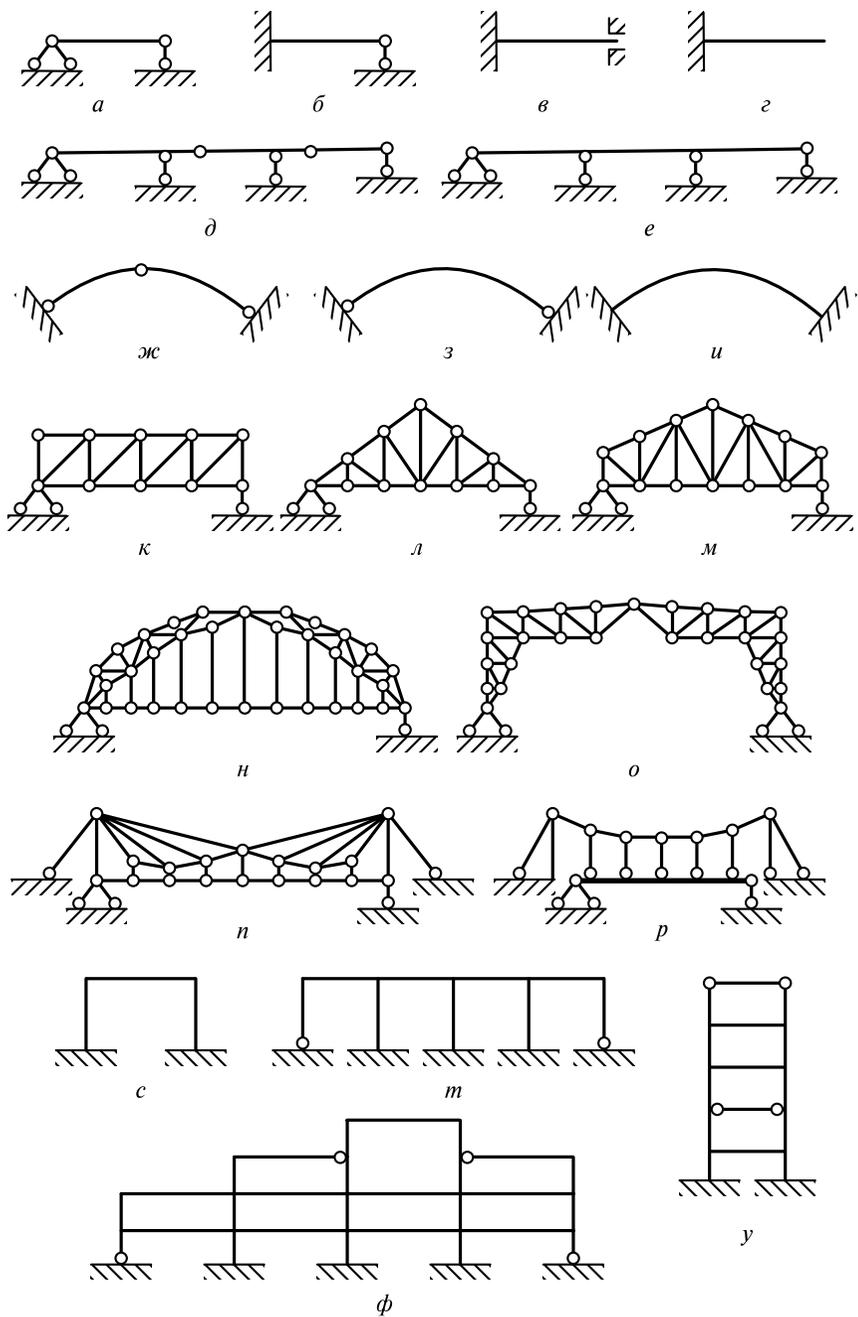


Рис. 1.12