

ВВЕДЕНИЕ

«Строительные конструкции» как учебная дисциплина специального цикла в соответствии с Государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования **в качестве основной своей цели имеет обучение студентов** указанного уровня **основам расчета и проектирования конструкций, оснований и фундаментов**, с которыми наиболее часто приходится иметь дело в строительной практике.

Учебник адресован техникам-строителям базового уровня, поэтому речь пойдет о наиболее простых и в то же время широко распространенных строительных конструкциях, используемых в зданиях и сооружениях.

Дисциплина «Строительные конструкции», как и другие, опирается на данные многих учебных дисциплин, но теснее всего связана с такими, как «Техническая механика», «Строительные материалы» и «Архитектура зданий».

«Техническая механика», и прежде всего «Сопротивление материалов» как ее часть, является элементарной теорией о прочности, она ближе всего к «Строительным конструкциям» с точки зрения главной цели – выполнения расчета для обеспечения надежной работы отдельных конструкций и сооружений в целом. Основное же отличие заключается в том, что в «Сопротивлении материалов» рассматриваются абсолютно упругие и однородные материалы, а в «Строительных конструкциях» – и неоднородные (например, железобетон), и необязательно абсолютно упругие (бетон, кирпич).

«Строительные материалы» как учебная дисциплина рассматривает физико-механические свойства материалов с помощью лабораторных и других испытаний. «Строительные конструкции», прежде всего, интересуют прочностные характеристики строительных материалов и базирующиеся на этой основе расчетные формулы.

«Архитектура зданий» занимается основами архитектурно-строительного проектирования, конструктивными элементами зданий и способами их соединений, не вникая глубоко в вопросы обеспечения их прочности, которые являются главной задачей дисциплины «Строительные конструкции».

Строительные конструкции также тесно связаны с такими дисциплинами как «Экономика» и «Технология строительного производства». Первая решает вопросы экономичности и целесообразности при проектировании конструкций, а вторая – удобства их изготовления, монтажа и транспортирования.

Современные расчеты немыслимы без использования ЭВМ, особенно при выполнении расчетов сложных конструкций и сооружений. Выполнение расчетов простейших конструкций «вручную» в учебных целях необходимо для развития инженерного мышления, осознанной и обоснованной оценки их надежности в работе. По ряду причин авторы не приводят в этой книге расчетов с помощью ЭВМ.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Классификация строительных конструкций

Строительные конструкции очень разнообразны по своему назначению и применению. Тем не менее их можно объединить по некоторым признакам общности тех или иных свойств, т.е. проклассифицировать, уточнив при этом некоторые понятия. Возможны различные подходы к классификации конструкций.

Имея в качестве основной конечной цели учебника расчет конструкций, целесообразнее всего проклассифицировать их по следующим признакам:

1) по **геометрическому признаку** конструкции принято разделять на массивы, брусья, плиты, оболочки (рис. 1.1) и стержневые системы (рис. 1.3):

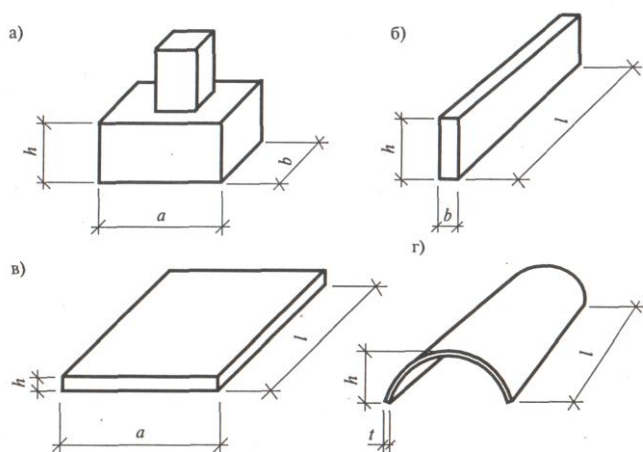


Рис. 1.1. Классификация конструкций по геометрическому признаку:
а) массив; б) брус; в) плита; г) оболочка

✓ **массив** — конструкция, в которой все размеры одного порядка, например у фундамента размеры могут быть такими: $a = 1,8$ м; $b = 1,2$ м; $h = 1,5$ м. Размеры могут быть и другими, но порядок их один — метры;

✓ **брус** — элемент, в котором два размера во много раз меньше третьего, т.е. они разного порядка: $b \ll l$, $h \ll l$. Например, у железобетонной балки они могут быть такими: $b = 20$ см, $h = 40$ см, $l =$

600 см, т.е. они могут отличаться друг от друга на целый порядок (в 10 и более раз).

Брус с ломаной осью принято называть простейшей рамой, а с криволинейной осью — аркой (рис. 1.2, а, б);

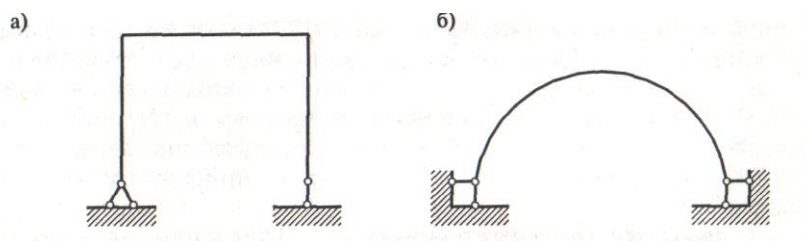


Рис. 1.2. Разновидности брусьев: а) рама; б) арка

✓ **плита** — элемент, в котором один размер во много раз меньше двух других: $h \ll a$, $h \ll l$. В качестве примера можно привести ребристую железобетонную плиту (точнее, поле плиты), у которой толщина собственно плиты h может быть 3–4 см, а длина и ширина порядка 150 см. Плита является частным случаем более общего понятия — оболочки, которая в отличие от плиты имеет криволинейное очертание (рис. 1.1, г). Рассмотрение оболочек выходит за рамки нашего курса;

✓ **стержневые системы** представляют собой геометрически неизменяемые системы стержней, соединенных между собой шарнирно или жестко. К ним относятся строительные фермы (балочные или консольные) (рис. 1.3).

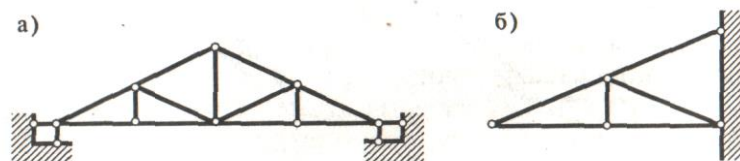


Рис. 1.3. Примеры простейших стержневых систем:
а) балочная ферма; б) консольная ферма

Размеры во всех примерах приведены в качестве ориентира и не исключают их многообразия. Есть случаи, когда трудно отнести конструкцию к тому или иному виду по этому признаку. В рамках данного учебника все конструкции вполне вписываются в приведенную классификацию;

2) с точки зрения статики конструкции делятся на статически определимые и статически неопределимые. К первым относятся системы (конструкции), усилия или напряжения в которых могут быть определены только из уравнений статики (уравнений равновесия), ко вторым — такие, для которых одних уравнений статики недостаточно. В настоящем учебнике преимущественно рассматриваются статически определимые конструкции;

3) по используемым материалам конструкции делятся на стальные, деревянные, железобетонные, бетонные, каменные (кирпичные);

4) с точки зрения напряженно-деформированного состояния, т.е. возникающих в конструкциях внутренних усилий, напряжений и деформаций под действием внешней нагрузки, условно можно поделить их на три группы: простейшие, простые и сложные (табл. 1.1). Такое разделение не является общепринятым, но позволяет привести в систему характеристики видов напряженно-деформированных состояний конструкций, которые широко распространены в строительной практике и будут рассмотрены в учебнике. В представленной таблице трудно отразить все тонкости и особенности указанных состояний, но она дает возможность сравнить и оценить их в целом. Подробнее о стадиях напряженно-деформированных состояний будет сказано в соответствующих главах.

1.2. Материалы для строительных конструкций и рекомендации по их применению

Строительная практика имеет дело с большой номенклатурой строительных материалов, как конструкционных, так и теплоизоляционных и отделочных. Как уже говорилось выше, наиболее распространены в качестве конструкционных материалов, т.е. применяются для несущих конструкций, сталь, железобетон, древесина и кирпич (камень). Не останавливаясь на особенностях работы различных материалов под нагрузкой и влияния на них условий эксплуатации, на различии их химического состава, структуры и т.п., дадим некоторые рекомендации по их использованию.

Материалы для проектируемых конструкций принимаются с учетом рекомендаций строительных норм и правил (СНиП). Строительные нормы и правила, по которым производится расчет строительных конструкций, состоят из нескольких глав в соответствии с рассматриваемым материалом:

Виды напряженно-деформированных состояний и их характеристики

Вид НДС	№ п/п	Название НДС	Нагрузка	Деформация	Усилия				Напряжения	
					N	M	Q	G	Нормальные	Касательные
Простейшие	1	Осевое сжатие				-	-	-		-
	2	Осевое растяжение				-	-	-		-
	3	Сдвиг			-	-	-		-	
Простые	4	Поперечный изгиб			-			-		
	5	Продольный изгиб					-	-	Комбинация 1 + 4	
Сложные	6	Внецентренное сжатие			Комбинация 1 + 4					
	7	Продольный изгиб с поперечным			Комбинация 4 + 5					

- ✓ СНиП Н-23-81* «Стальные конструкции»;
- ✓ СНиП И-24-74 «Алюминиевые конструкции»;
- ✓ СНиП И-25-80 «Деревянные конструкции»;
- ✓ СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции»;
- ✓ СНиП П-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции».

Выбор материалов для несущих конструкций зависит от многих условий: капитальности, долговечности, экономичности и т.д. При этом нет необходимости каждый раз выполнять сравнения вариантов и экономические обоснования, потому что в строительной практике за определенными видами конструкций давно закрепились соответствующие материалы. Более того, некоторые материалы не только нецелесообразно, но и невозможно использовать для ряда конструкций. Например, сталь, железобетон, древесину можно использовать для сжатых и изгибаемых конструкций (колонны и балки), а камень (кирпич) широко используется для столбов, но практически не используется в качестве изгибаемых конструкций. Далеко не все материалы можно применять для растянутых элементов и т.д.

Изучением физико-механических свойств, химического состава строительных материалов, их поведением в лабораторных и естественных условиях занимается ряд дисциплин. Поэтому многие сведения о строительных материалах, которые рассматриваются в других учебных предметах, здесь опущены, но сделан упор на вопросах обеспечения надежности материалов и конструкций при их работе под нагрузкой.

Сталь широко используется для строительства большепролетных и высотных зданий и сооружений ($L > 24$ м, $H > 10$ м), а также при тяжелых и подвижных нагрузках в промышленных цехах, где трудно найти ей замену. Она имеет широкое распространение и в небольших зданиях, особенно в тех случаях, когда ставится цель уменьшить вес конструкций или подчеркнуть их архитектурную выразительность.

В металлических конструкциях применяются: прокатная сталь – более 95%, отливки из стали и серого чугуна – менее 1%, алюминиевые сплавы – менее 5%. Исходя из этого в учебнике будут рассмотрены главным образом конструкции, выполняемые из стальных прокатных профилей. Сортамент прокатной стали весьма обширен, поэтому ограничимся рассмотрением сечений, состоящих из стальных равнополочных уголков, двутавровых балок (обычных и широкополочных), швеллеров.

Существующие строительные нормы «Стальные конструкции» предусматривают применение тринадцати сталей – от С235 до С590. В рамках нашего курса мы будем иметь дело со сталями, наиболее распространенными в простых инженерных сооружениях: С235, С245, С275, С345.

Железобетон, в особенности сборный, в отечественной строительной практике имеет широкое распространение, применяется наравне со сталью, за исключением тех областей, где его использование нецелесообразно или невозможно.

Исходными материалами для железобетона являются бетон и арматура. Действующие строительные нормы «Бетонные и железобетонные конструкции» разрешают применение девятнадцати классов бетона, семи классов стержневой арматуры и пяти – проволочной. Для обычных, ненапрягаемых железобетонных конструкций наиболее часто используются бетоны В15, В20, В25, В30; стержневая арматура А-III, А-I, А-II; проволочная арматура Вр-1.

Кирпич (камень) имеет преимущества перед другими материалами потому, что является одновременно несущим, теплоизоляционным и отделочным материалом и в то же время удовлетворяет требованиям пожарной безопасности, капитальности и простоты возведения.

Строительные нормы «Каменные и армокаменные конструкции» рекомендуют применение девятнадцати марок кирпича, бетонных и природных камней марок от 4 до 1000 и восьми марок раствора – от 4 до 200. В большинстве зданий и сооружений используются марки кирпича 50, 75, 100, 125, и раствора – 50, 75, 100.

Древесина является одним из древнейших строительных материалов, имеет ряд ценных свойств: простота заготовки и обработки, высокие теплотехнические свойства, высокая стойкость к большинству видов химической агрессии, возможность склеивания маломерных досок и фанеры. Древесина и изделия из нее имеют сравнительно высокие прочностные показатели при небольшом весе.

Строительные нормы «Деревянные конструкции» предусматривают применение самых разных пород древесины в качестве несущих конструкций и их частей (береза, акация, сосна, лиственница и др.). В условиях нашей страны чаще всего для этих целей применяют сосну, ель, лиственницу.

1.3. Требования к строительным конструкциям и общие принципы их проектирования

Все строения можно поделить на здания и сооружения. Здания, в свою очередь, подразделяются на гражданские (жилые и общественные) и производственные (промышленные и сельскохозяйственные). К сооружениям относят инженерные постройки (объекты), предназначенные для выполнения каких-либо технических задач. Требования к зданиям и сооружениям, как и сами они, изучаются в курсе «Архитектурные конструкции». К таким требованиям относятся: функциональные,

технические, архитектурно-художественные, экономические, природоохранные и др.

В курсе «Строительные конструкции» рассматривают главным образом несущие конструкции зданий и сооружений, которые воспринимают силовые и другие воздействия и передают их на нижележащие конструкции, затем на фундаменты и, наконец, на грунт. Несущие конструкции должны отвечать требованиям, предъявляемым к самим зданиям и сооружениям в отношении долговечности, огнестойкости, индустриальности, унификации и др.

Не останавливаясь на подробном описании всех предъявляемых к конструкциям требований, которые являются предметом изучения других дисциплин, ограничимся рассмотрением такого свойства, как **надежность**, т.е. способность конструкции сохранять свои эксплуатационные качества в течение всего срока службы сооружения, а также в период ее транспортирования с заводов на строительную площадку и в момент монтажа. С точки зрения изучаемой дисциплины главным показателем надежности несущей конструкции является **безопасная** (безаварийная) ее **работа под действием внешних нагрузок** и различных воздействий, возникающих при эксплуатации (температурных, коррозионных, сейсмических и др.). С понятиями надежности и безопасной работы конструкций тесно связаны такие более частные проявления этих свойств, как **прочность, жесткость и устойчивость**, которые относятся как к зданиям и сооружениям в целом, так и к отдельно взятым несущим конструкциям. Для того чтобы обеспечить прочность, жесткость и устойчивость зданий и их конструкций, выполняются соответствующие расчеты, позволяющие назначить материалы, размеры и формы конструкций и выполнить их соединения такими, чтобы они были надежными и долговечными.

Понятие **прочности** не однозначно, но если охватить самое существенное, то ее можно определить как **неразрушаемость** конструкции в течение всего периода ее эксплуатации (подробнее см. в главе 2.1).

Когда говорят о **жесткости** конструкции, прежде всего имеют в виду **сопротивляемость деформациям**, например прогибам или поворотам сечения. Такие деформации происходят в направлении действия нагрузок. Если они превосходят какие-то значения, установленные нормами, то говорят о недостаточной жесткости или чрезмерной гибкости.

Устойчивость – это **сохранение формы** конструкции. Так, в случае потери устойчивости конструкция, которая до приложения нагрузки имела одну форму, например прямолинейную, после приложения нагрузки принимает другую – криволинейную. Деформации, возникающие при потере устойчивости, в отличие от изгиба, как правило, не совпадают с плоскостью действия нагрузок (подробнее см. в главе 2.2).

Здесь говорилось о возможной потере устойчивости и деформациях, возникающих в простых конструкциях; потеря устойчивости здания или недостаточная его жесткость в целом описываются более сложно.

Обеспечение безопасной работы конструкций является главной, но не единственной задачей расчетов; их целью является также проектирование конструкций, отвечающих требованиям экономичности, складывающейся из стоимости конструкции при изготовлении, трудоемкости ее возведения или монтажа, а также расходов на содержание в период эксплуатации. Поэтому развитие строительной науки и отражающие современный научный уровень строительные нормы и правила проектирования конструкций и зданий направлены на изыскание дальнейших резервов экономии.

1.4. Достижения в области строительных конструкций и перспективы их развития

Уровень развития строительных конструкций определяется, с одной стороны, потребностями общества, а с другой – возможностями технической базы, строительной науки и практики.

Капитальное строительство, реконструкция и ремонт зданий и сооружений составляют одну из крупнейших отраслей экономики, в которой заняты миллионы людей. Строительство уже давно перестало быть сезонным и ведется независимо от климатических и погодных условий. Благодаря развитой сети домостроительных комбинатов и заводов по изготовлению стальных, железобетонных, деревянных и других конструкций в последнее время значительно увеличилась их номенклатура и улучшилось качество. Говоря о перспективах развития строительных конструкций, укажем на следующие.

В области теории расчета строительных конструкций идет дальнейшее уточнение их действительной работы, т.е. создаются такие расчетные схемы, которые наиболее точно отвечают реальным условиям работы, таких методов расчета, которые рассматривают сооружения не по элементам (колонны, балки и т.д.), а в целом, как единую систему. В решении этих задач огромная роль принадлежит внедрению ЭВМ.

В области строительных материалов, строительной индустрии и проектирования ведутся исследования по созданию материалов повышенной прочности, легких конструкционных материалов, которые вместе с тем являются надежными и долговечными. В практику внедряются новые виды сталей, в том числе арматурных, высокопрочные бетоны, кирпичи и камни, имеющие не только более высокое качество, но и отличающиеся высокой прочностью и улучшенными теплотехническими свойствами, новые способы обработки древесины, повышающие ее долговечность. Одной из главных задач строительной науки является Создание таких строительных материалов, которые приводят к снижению материалоемкости конструкций, т.е. снижению их веса за счет повышения прочностных свойств материалов.

В области металлических конструкций все более широко используются высокопрочные стали, которые в несколько раз прочнее обычных малоуглеродистых, что приводит к значительному снижению веса конструкций и зданий в целом. Снижение материалоемкости стальных конструкций осуществляется не только за счет повышения прочности сталей, но и за счет внедрения более рациональных и эффективных конструктивных форм и сечений (применение прокатных широкополочных и сварных профилей, предварительно напряженных и биметаллических балок, пространственных и висячих конструкций и др.). В ряде случаев алюминиевые конструкции имеют преимущества перед стальными благодаря более легкому весу и прекрасной работе при низких температурах, что зачастую делает их незаменимыми в районах Крайнего Севера и высокогорных районах.

В области деревянных конструкций отдается предпочтение клееным конструкциям, которые позволяют формировать сложное сечение и форму. Так, например, клееными деревянными арочными конструкциями возможно перекрывать пролеты до 100 и более метров. В большепролетных сооружениях, например зрелищных, деревянные конструкции **благодаря** малому весу способны конкурировать с металлическими и железобетонными конструкциями. Деревянные конструкции не имеют себе равных при сооружении складов для хранения агрессивных материалов.

В области железобетонных конструкций идет поиск резервов по снижению **веса** конструкций за счет увеличения прочностных и улучшения других свойств бетонов и арматуры. Уже в ближайшее время применение бетонов класса В70 и более станет обычным явлением. Высокопрочные бетоны достигают прочности чугуна, а некоторые пластобетоны с использованием полимеров в лабораторных условиях достигают прочности обычных сталей. Все шире входят в практику конструкции из армоцементов, а также легких бетонов. Массивные железобетонные конструкции будут изготавливаться полыми за счет установки в них толстостенных картонных труб. Для некоторых конструкций внедряются новые эффективные виды арматуры, в том числе неметаллической (из стекловолокна). Все разнообразнее становятся предварительно напряженные конструкции, например изготавливаемые на самонапрягающихся бетонах. Совершенствуется монолитное домостроение, особенно эффективное при возведении высотных зданий.

Использование конструкционных материалов с новыми свойствами в сочетании с современными инженерными решениями и технологиями дает толчок к созданию уникальных сооружений. Так, существуют проекты железобетонной башни высотой 2 км, железобетонного моста через Берингов пролив длиной 32 км на двух опорах.

Каменные и армокаменные конструкции имеют строго очерченную область применения – мало – и среднеэтажное строительство. Вопросы энергосбережения, особенно остро вставшие в последнее время, привели к разработке конструкций и широкому применению многослойных наружных кирпичных стен с включением в них эффективных теплоизоляционных материалов. Здесь нет каких-либо технологических прорывов, как в области других строительных материалов, но есть своя завоеванная ниша, где использование других строительных материалов нецелесообразно.

В области фундаментостроения стоят задачи по совершенствованию методов расчета оснований и фундаментов. Существующая модель основания и вытекающие из нее расчетные формулы исходят из предпосылки, что основание является сплошным телом. Современная наука в области механики грунтов рассматривает фунты как дисперсные, состоящие из отдельных частиц, т.е. как не сплошную среду, что в большей степени соответствует реальному грунту. Как следствие меняются расчетные формулы для расчета оснований. В области практических исследований грунтов создается более совершенное оборудование, позволяющее точнее и быстрее оценить их прочностные и деформационные свойства в полевых условиях.

Наряду с новыми взглядами на основания продолжают совершенствоваться методики расчета и конструкции фундаментов. Как и для других конструкций, основными задачами в фундаментостроении являются снижение материалоемкости и простота возведения фундаментов. Например, ведутся исследования по армированию фундаментов не традиционными сварными арматурными сетками и каркасами, а мелко нарезанной стальной проволокой или обрезками пропиленовых волокон, добавляемых в бетонную смесь в процессе ее перемешивания, что придает армобетону более однородные механические свойства.

В практику строительства внедряются конструкции, которые не вписываются в существующую классификацию, – это мягкие оболочки. Тентовые и надувные (каркасные и бескаркасные) оболочки уже используются для промышленных зданий, складов и гаражей, и, если будет решена проблема долговечности тканей для них, они найдут широкое распространение.