

## 2. ОСНОВЫ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВАНИЙ (ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ)

При проектировании, которое включает в себя расчет и конструирование строительных конструкций, необходимо соблюдать требования СНиПов. **Требования строительных норм направлены на обеспечение необходимой надежности в работе как здания (сооружения) в целом, так и его отдельных элементов (конструкций), их соединений, а также оснований.** При этом здания и сооружения должны отвечать требованиям долговечности и капитальности.

Существующие строительные нормы предписывают вести расчет строительных конструкций на силовые воздействия по методу предельных состояний.

### 2.1. Понятие о предельных состояниях строительных конструкций

**Предельными называются такие состояния для здания, сооружения, а также основания или отдельных конструкций, при которых они перестают удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям, а также требованиям, заданным при их возведении.** Далее везде по тексту в целях его сокращения будет говориться только о конструкциях и зданиях, имея при этом в виду и сооружения, и основания, и соединения элементов конструкций.

Предельные состояния конструкций (зданий) подразделяются на две группы:

✓ **первая группа** – по потере несущей способности или непригодности к эксплуатации. Говоря проще, состояния, относящиеся к этой группе, считаются предельными, если в конструкции наступило опасное напряженно-деформированное состояние; в худшем случае, если она по этим причинам разрушилась;

✓ **вторая группа** – по непригодности к нормальной эксплуатации. Нормальной называется такая эксплуатация здания или его конструкции, которая осуществляется в соответствии с предусмотренными в нормах или заданиях на проектирование технологическими или бытовыми условиями. Другими словами, возможны случаи, когда конструкция не потеряла несущей способности, т.е. удовлетворяет требованиям первой группы предельных состояний, но ее деформации (например, прогибы или трещины) таковы, что нарушают технологический процесс или нормальные условия нахождения людей в помещении.

**К предельным состояниям первой группы относятся:**

- ✓ общая потеря устойчивости формы (рис. 2.1, а, б);
- ✓ потеря устойчивости положения (рис. 2.1, в, г);
- ✓ хрупкое, вязкое или иного характера разрушение (рис. 2.1, д);
- ✓ разрушение под совместным воздействием силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды и др.

**К предельным состояниям второй группы относятся** состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций (зданий) или снижающие их долговечность вследствие появлений недопустимых перемещений (прогибов, осадок, углов поворота), колебаний и трещин.

Например, подкрановая балка, оставаясь прочной и надежной в работе, может прогнуться больше, чем установлено нормами. Вследствие этого мостовому крану с грузом приходится как бы выезжать из «ямы»,

образовавшейся вследствие прогиба балки, что создает дополнительные нагрузки на его узлы и ухудшает условия его нормальной эксплуатации. Другой пример: при прогибе деревянных оштукатуренных поверхностей (потолка) более чем на  $1/300$  длины пролета начинает отпадать штукатурка. Прочность балки при этом может быть не исчерпана, но нарушаются нормальные бытовые условия и может возникнуть опасность для здоровья и жизни людей. К аналогичным последствиям может привести чрезмерное раскрытие трещин, которые допустимы в железобетонных и каменных конструкциях, но ограничиваются нормами.

## 2.2. Понятие о расчете строительных конструкций по предельным состояниям

**Метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям имеет своей целью не допустить наступления ни одного из предельных состояний, которые могут возникнуть в конструкции (зданий) при их эксплуатации в течение всего срока службы, а также при их возведении.**

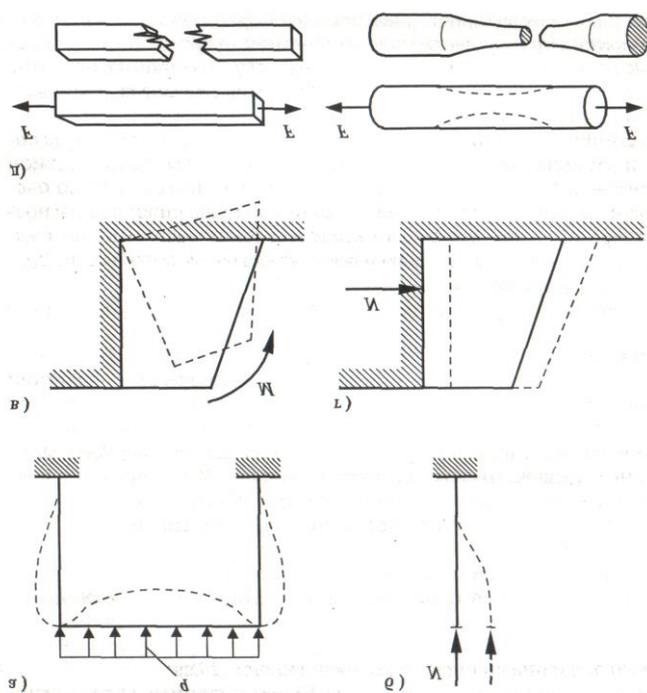


Рис. 2.1. Предельные состояния первой группы:  
 а), б) потеря общей устойчивости;  
 в), г) потеря устойчивости положения;  
 д) хрупкое, вязкое или иное характера разрушение

В наиболее общем виде **суть расчета** по предельным состояниям заключается в том, чтобы величины усилий, напряжений, деформаций, перемещений, раскрытия трещин или величины других факторов и воздействий не превышали предельных значений, установленных нормами проектирования. Другими словами, считается, что предельное состояние не наступит, если действительные перечисленные факторы не превышают значений, установленных нормами. Вся сложность расчета заключается в том, чтобы определить величины напряжений, деформаций и т.д., возникающих в конструкциях под действием нагрузок. Сравнить их с предельными значениями обычно не представляет труда.

### 2.2.1. Понятие о расчете по предельным состояниям первой группы

Расчет по предельным состояниям первой группы называют расчетом по несущей способности (по непригодности к эксплуатации). Цель такого расчета заключается в том, чтобы предотвратить наступление любого из предельных состояний первой группы, т.е. обеспечить несущую способность как отдельной конструкции, так и всего здания в целом.

Несущая способность конструкции считается обеспеченной, если удовлетворяется неравенство типа

$$N \leq \Phi \quad (2.1)$$

где  $N$  – расчетные, т.е. **наибольшие возможные усилия** (или другие факторы), могущие возникнуть в сечении элемента (для сжатых и растянутых элементов – это продольная сила, для изгибаемых – изгибающий момент и т.д.). Они зависят в первую очередь от нагрузки и определяются по правилам строительной механики в зависимости от конструктивной схемы, способов соединения конструкций и т.д.;

$\Phi$  – **наименьшая возможная несущая способность** сечения элемента, подвергающегося сжатию, растяжению или изгибу. Она зависит от прочностных свойств материала конструкции, геометрии (формы и размеров) сечения и в наиболее общем виде может быть выражена (как функция, зависящая от материала и геометрических факторов сечения) в следующем виде:

$$\Phi = \{R; A\}, \quad (2.2)$$

где  $R$  – **расчетное сопротивление материала** (которое является одной из основных прочностных характеристик материала, более подробно см. параграф 2.2.3);

$A$  – **геометрический фактор** (площадь поперечного сечения – при растяжении и сжатии, момент сопротивления – при изгибе и т.д.).

Для некоторых конструкций несущая способность считается обеспеченной, если выполнено условие (2.3), которое является частным случаем условия (2.1):

$$\sigma \leq R, \quad (2.3)$$

где  $\sigma$  – нормальные напряжения в сечении конструкции (элемента), которые определяются, как правило, по формулам сопротивления материалов. Иногда в соответствующих расчетах приходится сравнивать с расчетным сопротивлением материала другие напряжения (касательные, главные и др.).

### 2.2.2. Понятие о расчете по предельным состояниям второй группы

**Цель этого расчета – не допустить ни одного из предельных состояний второй группы**, т.е. обеспечить нормальную эксплуатацию строительных конструкций или здания в целом.

Считается, что предельные состояния второй группы не наступят, если будет удовлетворено условие

$$f \leq f \quad (2-4)$$

где  $f$  (в общем случае) – **это определенная из расчета деформация конструкции** (перемещение, угол поворота сечения и т. д.). Для изгибаемых элементов это прогиб конструкции или ее элемента, для стержневых систем – укорочение или удлинение стержней, для оснований – величина осадки. Они определяются по правилам строительной механики в зависимости от нагрузки, материала и расчетной схемы конструкции;

$f_u$  – **предельная деформация конструкции** (перемещение, угол поворота сечения и т.д.). Для балок – предельный прогиб, который определяется в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85\*, для оснований зданий – предельная величина осадки, принимается по СНиП 2.02.01-83\*.

К предельным состояниям второй группы относится также образование чрезмерных трещин. Трещины, вообще говоря, допустимы, но не для всех материалов. Они допустимы в некоторых железобетонных и каменных конструкциях, но ширина их раскрытия, так же как и прогибы, ограничивается нормами. Структура формул при обеспечении предельного состояния по раскрытию трещин остается такой же, как и при обеспечении деформаций или прогибов, т.е. аналогична условию (2.4).

В этой главе даны общие подходы к расчету по предельным состояниям первой и второй групп, и в дальнейшем они будут конкретизированы в зависимости от рассматриваемой конструкции и материала, из которого она выполнена.

### 2.2.3. Нормативные и расчетные значения сопротивлений материалов и нагрузок

При расчетах по предельным состояниям первой и второй групп в качестве главного прочностного показателя материала, как уже отмечалось, устанавливается его сопротивление, которое (наряду с другими характеристиками) может принимать нормативные и расчетные значения:

$R_n$  – **нормативное сопротивление материала**, представляет собой **основной параметр сопротивления материалов** внешним воздействиям и устанавливается соответствующими главами строительных норм (с учетом условий контроля и статистической изменчивости сопротивлений). Физический смысл нормативного сопротивления  $R_n$  – это **контрольная или браковочная характеристика сопротивления материала** с обеспеченностью не менее 0,95%;

$R$  – **расчетное сопротивление материала**, определяется по формуле

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m} \quad (2-5)$$

где  $\gamma_m$  – **коэффициент надежности по материалу**, учитывает возможные отклонения сопротивления материала в неблагоприятную сторону от нормативных значений,  $\gamma_m > 1$ .

Коэффициент надежности по материалу учитывает несоответствие фактической работы материала в конструкциях и его работы при испытании в образцах, а также возможность попадания в конструкции материала со свойствами ниже установленных в ГОСТ.

Расчетные сопротивления в расчетах следует принимать с коэффициентом условий работы  $\gamma_c$ :

$\gamma_c$  – **коэффициент условий работы**, учитывает особенности работы материалов, элементов и соединений конструкций, а также зданий и сооружений в целом, если эти особенности имеют систематический характер, но не отражаются в расчетах прямым путем (учет температуры,

влажности, агрессивности среды, приближенности расчетных схем и др.). При выводе расчетных формул и написании формул, приводимых в СНиП, иногда не указывают, что расчетные сопротивления умножаются на  $\gamma_c$ , но если коэффициент условия работы отличается от единицы, на него всегда надо умножать расчетное сопротивление, т.е. во всех формулах, где есть  $R$ , вместо  $R$  надо подставлять произведение  $R\gamma_c$ .

Нормативные  $R_n$  и расчетные  $R_{сопротивления}$  приводятся в соответствующих главах СНиП в зависимости от материала (см. главу 2.3).

Нормативные и расчетные значения устанавливаются не только для сопротивлений материалов, но и для нагрузок, учитывая изменчивость их величин или невозможность их определения с абсолютной точностью:

$N_n$  – **нормативная нагрузка**, рассчитывается по проектным размерам конструкций или принимается в соответствии с главой СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия»;

$N$  – **расчетная нагрузка**, определяется по формуле

$$N = N_n \gamma_f \quad (2.6)$$

где  $\gamma_f$  – **коэффициент надежности по нагрузкам**, учитывает возможные отклонения нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от их нормативных значений. Как правило,  $\gamma_f > 1$ .

Нормы учитывают также возможные последствия от аварий, этот учет ведется при помощи коэффициента надежности по ответственности, на который умножаются расчетные нагрузки, что ведет к понижению или повышению их значения:

$$N \gamma_n$$

где  $\gamma_n$  – **коэффициент надежности по ответственности**, учитывает экономические, социальные и экологические последствия, которые могут возникать в результате аварий. Большинство зданий (сооружений) массового строительства (жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные здания и сооружения) относятся к нормальному уровню ответственности, для которого установлено значение коэффициента  $\gamma_n = 0,95$ . Подробнее см. Приложение 7 СНиП 2.01.07-85\*.

Вследствие того, что наступление предельных состояний, относящихся ко второй группе, не связано с потерей несущей способности конструкций или здания в целом, нагрузки сопротивления материалов, а также сопротивления грунтов, которые используются в расчетах по этой группе, принимаются численно равными нормативным значениям и называются сервисными:  $N_{ser}, R_{ser}$ .

Соответственно, **сервисная нагрузка  $N_{ser}$  и сервисное сопротивление  $R_{ser}$  считаются расчетными для расчетов по предельным состояниям второй группы.**

**При расчетах по первой группе предельных состояний, которые связаны с обеспечением несущей способности конструкции (здания), принимают расчетные значения: расчетные нагрузки  $N$  и расчетные сопротивления материала  $R$ .**

При сравнении расчетных и нормативных значений видно, что расчетные нагрузки обычно больше нормативных, а расчетные сопротивления меньше нормативных сопротивлений. Так учитывается в определенном смысле большая ответственность расчета по предельным

состояниям первой группы по сравнению с расчетами, относящимися ко второй группе.

При выполнении расчетов, относящихся к первой и второй группам предельных состояний, необходимо учитывать значения нагрузок, сопротивления материалов и коэффициенты в соответствии с табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Учет расчетных и нормативных характеристик материалов, нагрузок и коэффициентов при расчете конструкций по первой и второй группам предельных состояний**

Группа предельных состояний	Нагрузки		Сопротивления	
	Нормативные (сервисные)	Расчетные	Нормативные (сервисные)	Расчетные
Первая	-	$N = N_n \cdot \gamma_f$ $N \cdot \gamma_n$	-	$R = R_n / \gamma_m$ $R \cdot \gamma_c$
Вторая	$N_{ser} = N_n$	-	$R_{ser} = R_n$	-

**2.3. Работа материалов для несущих конструкций под нагрузкой и их расчетные характеристики**

В главе 2.2 дано общее представление о нормативных и расчетных сопротивлениях материалов. При выполнении расчетов необходимо уметь правильно определять их для конкретных материалов, понимать их связь с общим характером работы материала. Наряду с сопротивлениями материалов для выполнения расчетов имеет большое значение такой показатель свойств материалов, как модуль упругости, который устанавливает зависимость между напряжениями в материале и возникающими в нем деформациями.

Ниже рассмотрим, как определяются нормативные и расчетные сопротивления, модули упругости и коэффициенты условий работы для различных конструкционных материалов.

**2.3.1. Сталь**

Выбор стали для рассчитываемых конструкций производится по Приложению 1, табл. 50\* СНиП И-23-81\*. При выборе стали учитывается сложность напряженного состояния, которое испытывает конструкция при работе (конструкции разделены на четыре группы: конструкции, испытывающие наиболее сложное напряженное состояние, относятся к группе 1, наименее сложное – к группе 4); учитывается также температура, при которой будет эксплуатироваться конструкция (низкие отрицательные температуры могут приводить к хрупкому разрушению стали).

В настоящем учебнике рассматриваются только некоторые, часто применяемые стали (С235, С245, С275, С345) и не акцентируется внимание на выборе сталей.

Исследования работы сталей проводятся на стальных образцах, результаты их работы отражаются на диаграмме, где по оси ординат откладываются напряжения  $\sigma$ , а по оси абсцисс относительные деформации образца  $\epsilon$  (отношение удлинения образца к его первоначальной длине). На диаграмме (рис. 2.2) можно выделить три участка работы стали: 1 – участок упругой работы; 2 – участок пластической работы; 3 – участок

упругопластической работы. В большинстве простейших расчетов, которые и рассматриваются в настоящем учебнике, считается, что сталь работает в пределах первого участка – упруго, т.е. напряжения в элементах ограничиваются пределом текучести –  $\sigma_y$ . Соответственно, нормативные и расчетные сопротивления, необходимые для расчета конструкций, принимаются по пределу текучести (табл. 2.2):

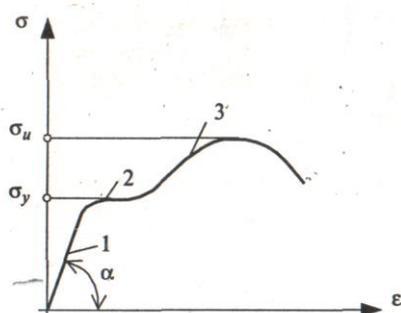
$R_{yn}$  – нормативное сопротивление стали, принятое по пределу текучести;

$R_y$  – расчетное сопротивление стали, принятое по пределу текучести.

В некоторых случаях необходимо при расчетах знать нормативные и расчетные сопротивления, принятые по временному сопротивлению –  $a_{II}$ :

$R_{un}$  – нормативное сопротивление стали, принятое по временному сопротивлению;

$R_u$  – расчетное сопротивление стали, принятое по временному сопротивлению.



**Рис. 2.2. Диаграмма растяжения стали:**

$\sigma$  – координата напряжений;  $\epsilon$  – координата относительных удлинений;  $\sigma_u$  – временное сопротивление стали;  $\sigma_y$  – предел текучести стали;

$\text{tg}\alpha = E$  – модуль упругости стали; 1 – участок упругой работы; 2 – участок пластической работы; 3 – участок упругопластической работы

Нормативные и расчетные сопротивления стали принимаются по таблице 51\* СНиП П-23-81\* в зависимости от стали, вида проката (фасонный или листовый) и толщины проката. Для некоторых сталей нормативные и расчетные сопротивления приведены в табл. 2.2 учебника. Как уже отмечалось, расчетные сопротивления должны умножаться на коэффициенты условий работы. Для стальных конструкций коэффициенты условий работы  $\gamma_c$ , приведены в таблице 6\* СНиП П-23-81\*. В случаях, не оговоренных в таблице, следует принимать  $\gamma_c = 1$ . Некоторые коэффициенты условий работы стальных конструкций приведены в настоящем учебнике (табл. 2.3).

В дальнейшем при ссылке на номера таблиц, если не указаны номера соответствующих СНиП, приводятся номера таблиц учебника.

Кроме требований по механической прочности к сталям могут предъявляться требования по ударной вязкости (способности противостоять разрушению при воздействии ударной нагрузки), которые определяются категорией стали. Категория стали принимается в зависимости от климатического района строительства, динамических воздействий на конструкцию и других требований. Так, в записи стали С345-1, цифра 1 обозначает категорию стали. Необходимая категория стали определяется по табл. 50\* СНиП П-23-81\*

Для ряда расчетов необходимо знать модуль упругости. Модуль упругости стали численно равен тангенсу угла наклона диаграммы к оси абсцисс:  $E = \text{tg}\alpha$  (рис. 2.2). Для прокатной стали и стальных отливок модуль упругости  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа.

Извлечение из табл. 51 СНиП II-23-81\*

Сталь	Толщина проката, мм	Нормативное сопротивление проката, МПа				Расчетное сопротивление проката, МПа			
		листового широкополосного универсального		фасонного		листового широкополосного универсального		фасонного	
		$R_m$	$R_{tm}$	$R_m$	$R_{tm}$	$R_y$	$R_u$	$R_y$	$R_u$
С235	2-20	235	360	235	360	230	350	230	350
	20-40	225	360	225	360	220	350	220	350
	40-100	215	360	-	-	210	350	-	-
	свыше 100	195	360	-	-	190	350	-	-
С245	2-20	245	370	245	370	240	360	240	360
	20-30	-	-	235	370	-	-	230	360
С275	2-10	275	380	275	390	270	370	270	380
	10-20	265	370	275	380	260	360	270	370
С345	2-10	345	490	345	490	335	480	335	480
	10-20	325	470	325	470	315	460	315	460
	20-40	305	460	305	460	300	450	300	450
	40-60	285	450	-	-	280	440	-	-
	60-80	275	440	-	-	270	430	-	-
	80-100	265	430	-	-	260	420	-	-

Таблица 2.3

Извлечение из табл. 6 СНиП 11-23-81\*

№ п/п	Элементы конструкций	Коэффициент условий работы $\gamma_c$
1	Сплошные; балки и сжатые элементы ферм перекрытий под залами театров, клубов, кинотеатров, под трибунами, под помещениями магазинов, книгохранилищ и архивов и т.п. при весе перекрытий, равном или большем временной нагрузки	0,9
2	Колонны общественных зданий и опор водонапорных башен	0,95
3	Сжатые основные элементы (кроме опорных) решетки составного таврового сечения из уголков сварных ферм "покрытий и перекрытий (например, стропильных и аналогичных им ферм) при гибкости $X \leq 60$	0,8
4	Сплошные балки при расчетах на общую устойчивость $\varphi_b < 1,0$	0,95
5	Затяжки, тяги, оттяжки, подвески, выполненные из прокатной стали	0,9
6	Элементы стержневых конструкций покрытий и перекрытий: а) сжатые (за исключением замкнутых трубчатых сечений) при расчетах на устойчивость б) растянутые в сварных конструкциях в) растянутые, сжатые, а также стыковые накладки в болтовых конструкциях (кроме конструкций на высокопрочных болтах) из стали с пределом текучести до 440 МПа, несущих статическую нагрузку, при расчетах на прочность	0,95 0,95 1,05

## Сортамент прокатных профилей

Металлические конструкции изготавливаются из элементов, получаемых прокаткой стали (листы и фасонный прокат), прессованием (прессованные профили из алюминиевых сплавов) или холодным гнутьем (гнутые профили). В строительных конструкциях разнообразные стальные или алюминиевые профили применяют в различных сочетаниях. От правильного выбора материала (стали или алюминиевого сплава) и типа профиля зависит стоимость изготовления конструкции. Перечень прокатных профилей с указанием их формы, геометрических характеристик, массы единицы длины и других данных называется сортаментом. В целях ограничения разнообразия типоразмеров проката и обеспечения унификации конструкций необходимо учитывать требования сокращенного сортамента, в котором нашла отражение не вся номенклатура выпускаемых заводами изделий, а наиболее распространенные профили проката, изготовленные из эффективных сталей. Частично сортамент металлопроката приведен в Приложении 1.

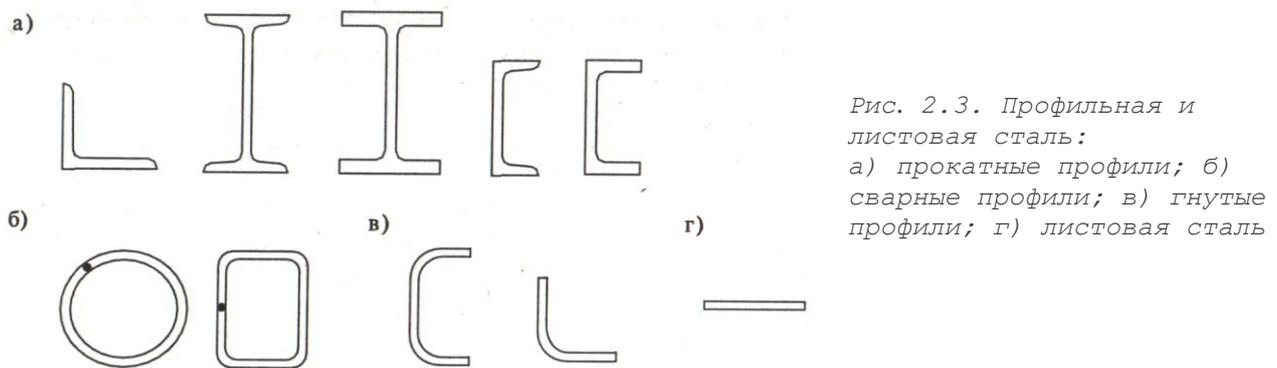


Рис. 2.3. Профильная и листовая сталь:  
а) прокатные профили; б) сварные профили; в) гнутые профили; г) листовая сталь

На рис. 2.3 представлены некоторые виды профилей, используемых для проектирования стальных конструкций.

Алюминиевые прессованные профили выпускаются различных очертаний, они изготавливаются путем продавливания нагретой алюминиевой заготовки через стальную матрицу с отверстием по форме сечения профиля. Для увеличения жесткости алюминиевых элементов их профили часто имеют утолщение на концах (рис. 2.4). Выпускаются также гнутые профили и листы, выполненные прокаткой.

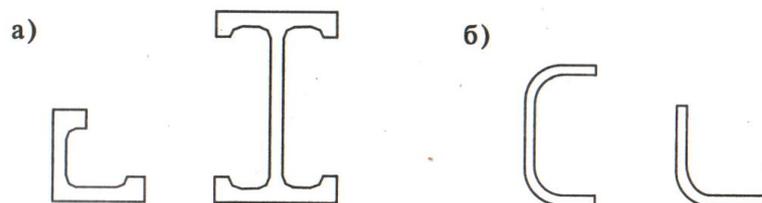


Рис. 2.4. Алюминиевые профили: а) прессованные; б) гнутые

Длины поставляемых заводами профилей различны, наиболее часто они поставляются длиной 6, 9 и 12 м.

### 2.3.2. Древесина

Деревянные конструкции выполняются из лесоматериалов хвойных и лиственных пород, которые делятся на круглые – бревна, пиленые – пиломатериалы и строительную фанеру.

Бревна поставляются диаметром 140–240 мм, длиной от 4 до 6,5 м (с градацией через 0,5 м); пиломатериалы поставляются шириной от 6 до 250 мм, толщиной 16–250 мм, длиной 2–6,5 м. Рекомендуемый сортамент – см. Приложение 2. Также для несущих строительных конструкций применяют фанеру марки ФСФ и бакелизованную марки ФБС. Наибольшее применение находят листы фанеры толщиной 8, 9, 10, 12, 15 мм.

Работа древесины зависит от вида нагружения (растяжение, сжатие, изгиб, смятие, скалывание), направления действия усилия по отношению к направлению волокон древесины, длительности приложения нагрузки, породы древесины и других факторов. Наличие пороков древесины (косослоя, сучков, трещин и т.п.) оказывает существенное влияние на ее прочность. Древесина подразделяется на три сорта, наиболее качественная древесина отнесена к первому сорту.

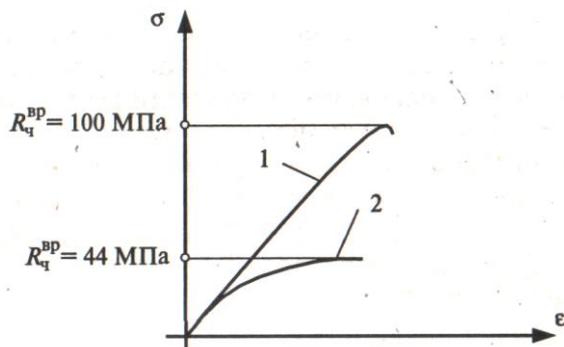


Рис. 2.5. Диаграмма работы древесины вдоль волокон:

- 1 – на растяжение;
- 2 – на сжатие;  $R_{\sigma}^{вп}$  – временное сопротивление чистой древесины;
- $\alpha$  – нормальные напряжения;
- $\epsilon$  – относительные деформации

Приведенные диаграммы (рис. 2.5) показывают работу древесины сосны при растяжении и сжатии вдоль волокон. Для сравнения диаграммы растяжения и сжатия изображены вместе. На участках, ограниченных расчетными сопротивлениями, работа древесины может считаться упругой. В случае испытания малых образцов чистой древесины (без пороков) прочностные и деформационные характеристики значительно отличаются от характеристик, полученных при испытании больших образцов и конструкций в целом. Это учтено в установленных нормами расчетных сопротивлениях. Весьма чувствительно на качество древесины реагируют растянутые элементы, поэтому расчетные сопротивления растяжению древесины вдоль волокон приняты существенно ниже временного сопротивления растяжению чистой древесины. Расчетные сопротивления древесины сосны, если частично приведены в табл. 2.4. Расчетные сопротивления вдоль волокон при работе древесины на изгиб, сжатие, смятие принимаются с учетом размеров сечения элемента, так как чем меньше элемент, тем больше повреждены волокна при распиле. Для обозначения расчетных сопротивлений древесины при работе поперек направления волокон вводится индекс «90», например  $R_{см,90}$  – расчетное сопротивление смятию поперек волокон. В СНиП II-25-80 также приводятся формулы для определения расчетных сопротивлений древесины при ее работе под произвольным углом  $\alpha$  –  $R_{см,\alpha}$ .

Извлечение из табл. 3 СНиП II-25-80

Напряженное состояние и характеристики элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления, МПа, для сортов древесины		
		1	2	3
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон: а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в подпунктах «б», «в») высотой до 50 см б) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 11-13 см в) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте сечения свыше 13-50 см г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	14	13	8,5
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	15	14	10
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	16	15	11
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	-	16	10
2. Растяжение вдоль волокон: а) неклееные элементы б) клееные элементы	$R_p$	10	7	-
	$R_p$	12	9	-
3. Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$R_{с,90}$ $R_{см,90}$	1,8	1,8	1,8
4. Скалывание вдоль волокон: а) при изгибе неклееных элементов б) при изгибе клееных элементов	$R_{ск}$	1,8	1,6	1,6
	$R_{ск}$	1,6	1,5	1,5

В случае применения древесины других пород расчетные сопротивления, приведенные в табл. 2.4, необходимо умножать на переходной коэффициент  $m_n$ , приведенный в табл. 2.5.

Табл. 4 СНиП II-25-80

Таблица 2.5

Древесные породы	Коэффициент $m_n$ для расчетных сопротивлений		
	растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон $R_p, R_{и}, R_{с}, R_{см}$	сжатию и смятию поперек волокон $R_{с,90}, R_{см,90}$	скалыванию $R_{ск}$
<b>Хвойные</b>			
1. Лиственница, кроме европейской и японской	1,2	1,2	1
2. Кедр сибирский, кроме Красноярского края	0,9	0,9	0,9
3. Кедр Красноярского края, сосна веймутова	0,65	0,65	0,65
4. Пихта	0,8	0,8	0,8
<b>Твердые лиственные</b>			
5. Дуб	1,3	2	1,3
6. Ясень, клен, граб	1,3	2	1,6
7. Акация	1,5	2,2	1,8
8. Береза, бук	1,1	1,6	1,3
9. Вяз, ильм	1	1,6	
<b>Мягкие лиственные</b>			
10. Ольха, липа, осина, тополь	0,8	1	0,8

Условия эксплуатации, отличающиеся от стандартных (принятых для определения расчетных сопротивлений), учитываются умножением расчетных сопротивлений на соответствующие коэффициенты условий работы  $m_i$  которые принимаются по п. 3.2 СНиП II-25-80. К ним относятся:  $m_b$ , учитывающий условия эксплуатации конструкций, которые определяются по табл. 1 СНиП II-25-80;  $m_T$  – учитывает влияние повышенных температур;  $m_d$  – учитывает влияние длительных нагрузок;  $m_o$  – учитывает наличие ослаблений – и другие коэффициенты условий работы. При совместном действии нескольких факторов перемножаются соответствующие им коэффициенты условий работы.

Модуль упругости древесины вдоль волокон  $E = 10\ 000$  МПа. Модуль упругости древесины также необходимо умножать на соответствующие коэффициенты условий работы, принятые для расчетных сопротивлений. В случае использования строительной фанеры расчетные сопротивления фанеры определяются по табл. 10 СНиП II-25-80, а модули упругости фанеры приведены в табл. ПСНИПИ-25-80.

### 2.3.3. Железобетон

Железобетон является комплексным строительным материалом, в котором совместно работают бетон и стальная арматура. Для понимания работы железобетона и определения характеристик, необходимых для расчета, рассмотрим каждый из входящих в его состав материалов.

#### **Бетон**

Для железобетонных конструкций применяют конструкционные бетоны: тяжелый, средней плотности свыше 2200 и до 2500 кг/м<sup>3</sup> включительно;

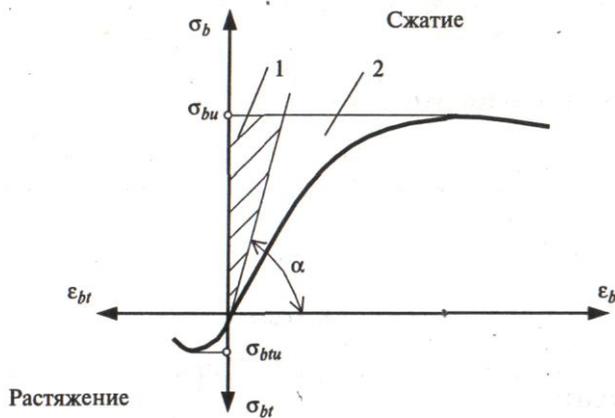
- ✓ мелкозернистый, средней плотности свыше 1800 кг/м<sup>3</sup>;
- ✓ легкий, плотной и поризованной структуры;
- ✓ ячеистый, автоклавного и неавтоклавного твердения;
- ✓ специальный бетон – напрягающий.

Основным показателем качества бетона является класс прочности на сжатие который устанавливается на основании испытаний бетонных кубов в возрасте 28 суток. При выполнении расчетов железобетонных конструкций классом прочности бетона задаются, принимая его в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84\*.

Для железобетонных конструкций не допускается применять: тяжелый и мелкозернистый бетон по прочности на сжатие ниже В7,5; легкий бетон по прочности на сжатие ниже В3,5 для однослойных и ниже В2,5 для двухслойных конструкций. Большинство несущих конструкций выполняется в настоящее время из тяжелого бетона, и чаще всего класс прочности бетона в таких конструкциях принимается в пределах В15-В35. Более подробно рекомендации по назначению классов прочности бетона см. пп. 2.5, 2.6\* СНиП 2.03.01-84\*.

Кроме класса прочности на сжатие для бетона могут нормироваться и другие классы и марки – см. пп. 2.2, 2.3. СНиП 2.03.01-84\*.

Бетон под нагрузкой работает упруго-пластично, т.е. в бетоне появляются упругие и пластические деформации. На сжатие бетон работает значительно лучше, чем на растяжение. На приведенной диаграмме (рис. 2.6) справа от оси ординат отложена работа бетона при сжатии, слева – при растяжении. Сверху от оси абсцисс отложено сопротивление сжатию, снизу – сопротивление растяжению.



**Рис. 2.6. Диаграмма напряжений и деформаций бетона:**

- 1 – зона упругих деформаций;
- 2 – зона пластических деформаций;
- $\sigma_{b\mu}$  – временное сопротивление бетона сжатию;
- $\sigma_{bt\mu}$  – временное сопротивление бетона растяжению;
- $\text{tg}\alpha = E_b$  – модуль упругости бетона

Нормативные ( $R_{bn}$ ,  $R_{b\tau n}$ ) и расчетные ( $R_b$ ,  $R_{b\tau}$ ) сопротивления бетона определяются по табл. 12, 13 СНиП 2.03.01-84\* в зависимости от класса прочности бетона на сжатие. Значения некоторых расчетных сопротивлений для тяжелого бетона приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Извлечение из табл. 13 СНиП 2.03.01-84\***

Вид сопротивления	Бетон	Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы $R_b$ и $R_{b\tau}$ , МПа, при классе бетона по прочности на сжатие						
		B10	B12.5	B15	B20	B25	B30	B35
Сжатие осевое (призменная прочность), $R_b$	Тяжелый и мелкозернистый	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17	19,5
Растяжение осевое, $R_{b\tau}$	Тяжелый	0,57	0,66	0,75	0,9	1,05	1,20	1,30

Расчетные сопротивления бетона  $R_b$ ,  $R_{b\tau}$  снижаются (или повышаются) путем умножения их значений на коэффициенты условий работы бетона  $\gamma_{bi}$ , учитывающие особенности свойств бетона, длительность действия нагрузки, многократную повторяемость нагрузки, условия и стадию работы конструкции, способ ее изготовления, размеры сечения и т.п. Значения коэффициентов условий работы  $\gamma_{bi}$  приведены в табл. 15 СНиП 2.03.01-84\*. Наиболее часто применяется в расчетах коэффициент условия работы бетона  $\gamma_{b2} = 0,9$ .

Модуль упругости бетона численно равен:  $E_b = \text{tg}\alpha$ , он зависит от класса прочности бетона на сжатие и способа твердения бетона. Для тяжелого бетона естественного твердения и подвергнутого тепловой обработке значения модулей упругости приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

**Извлечения из табл. 16 СНиП 2.03.01-84\***

Бетон	Класс бетона по прочности на сжатие и растяжение $E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа, при классе бетона по прочности на сжатие						
	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35
Тяжелый, естественного твердения	18,0	21,0	23,0	27,0	30,0	32,5	34,5
Тяжелый, подвергнутый тепловой обработке при атмосферном давлении	16,0	19,0	20,5	24,0	27,0	29,0	31,0

## Арматура

Арматура в железобетонных конструкциях принимается в зависимости от типа конструкции, наличия предварительного напряжения, а также условий эксплуатации зданий и сооружений. В соответствии с требованием пп. 2.17\*–2.22\* СНиП 2.03.01-84\* в качестве ненапрягаемой арматуры следует применять: а) стержневую арматуру класса Ат-IVС – для продольной арматуры; б) стержневую арматуру классов А-III и Ат-IIIС – для продольной и поперечной арматуры; в) арматурную проволоку класса Вр-1 для поперечной и продольной арматуры; г) стержневую арматуру классов А-I, А-II и Ас-II – для поперечной арматуры, а также для продольной арматуры, если другие виды ненапрягаемой арматуры не могут быть использованы; д) стержневую арматуру классов А-IV, Ат-IV и Ат-IVК – для продольной арматуры в вязаных каркасах и сетках; е) стержневую арматуру классов А-V, Ат-V, Ат-VК, Ат-VСК, А-IV, Ат-IV, Ат-IVК, Ат-VII – для продольной сжатой арматуры, а также продольной сжатой и растянутой арматуры при смешанном армировании конструкции (наличии в них напрягаемой и ненапрягаемой арматуры) в вязаных каркасах и сетках.

Арматуру классов А-III, Ат-IIIС, Ат-IVС, Вр-I, А-I, А-II и Ас-II рекомендуется применять в виде сварных каркасов и сеток, допускается в них использовать и другую арматуру.

Стремление унифицировать требования отечественных и зарубежных стандартов, а также существенное удорожание материалов привели к созданию новых видов классов свариваемой арматуры: А 400С, А 500С, А 600С, которые не отражены в СНиП 2.03.01-84\*, но начинают производиться и использоваться для изготовления железобетонных конструкций. Арматура А 400С, А 500С, А 600С применяется в соответствии с «Рекомендациями по применению в железобетонных конструкциях термомеханически упрочненной свариваемой стержневой арматуры новых видов» наряду или взамен арматуры классов А-II, А-III, А-IIIС, Вр-1.

Характер работы арматурных сталей под нагрузкой показан на диаграмме растяжения (рис. 2.7).

По характеру работы арматуры, отраженной на диаграмме, различают три вида арматурных сталей:

1. Сталь с выраженной площадкой текучести (мягкая арматурная сталь). Предел текучести таких сталей –  $\sigma_y$
2. Арматурная сталь с условным пределом текучести –  $\sigma_{0,2}$ . Предел текучести таких сталей принимается равным напряжению, при котором остаточные деформации образца составляют 0,2%.
3. Арматурная сталь с линейной зависимостью  $\sigma - \epsilon$  почти до разрыва. Для таких сталей предел текучести устанавливается как для сталей второго вида.

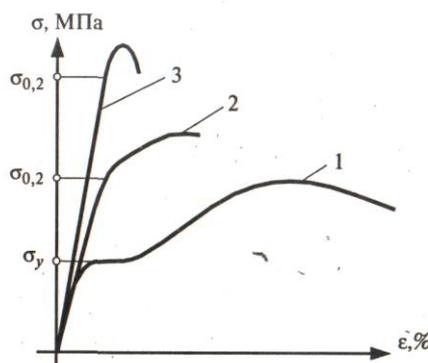


Рис. 2.7. Диаграммы растяжения арматурных сталей

Расчетные сопротивления арматуры, установленные для продольной арматуры при работе на растяжение, —  $R_s$ , при работе на сжатие, —  $R_{sc}$  и для арматуры поперечных стержней —  $R_{sw}$ , они приводятся в табл. 2.8. Модули упругости арматуры  $E_s$  — см. табл. 2.9.

Таблица 2.8.

**Извлечения из табл. 19\*, 20\*, 22\*, 23\* СНиП 2.03.01-84\***

Стержневая арматура классов	Нормативные сопротивления $R_{sn} = R_{s,sw}$ , МПа	Расчетные сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа		
		растяжению		сжатию $R_{sc}$
		продольной $R_s$	поперечной (хомутов и отогнутых стержней) $R_{sw}$	
A-I	235	225	175	225
A-II	295	280	225	280
A-III диаметром: 6-8 10-40	390	355 365	285* 290*	355 365
A-IV	590	510	405	450
A-V	788	680	545	500
Вр-I диаметром 3-5 мм	490	410	290**	375

\* В сварных каркасах для хомутов из арматуры класса А-III, диаметр которых меньше  $1/3$  диаметра продольных стержней, значения  $R_{sw}$  принимаются равными 255 МПа.

\*\* При применении проволоки в вязаных каркасах  $R_{sw}$  следует принимать равным 325 МПа.

Таблица 2.9

**Табл. 2.9 СНиП 2.03.01-84\***

Класс арматуры	Модуль упругости арматуры $E_s \cdot 10^{-4}$ , МПа
A-I, A-II	21
A-III	20
A-IV, A-V, A-VI	19
A-IIIв	18
B-II, Вр-II	20
K-7, K-19	18
Вр-I	17

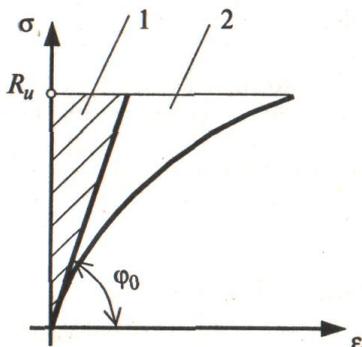
### 2.3.4. Каменная кладка

Прочность каменной кладки зависит в основном от прочности камня (кирпича) и раствора. Порядок определения марок кирпича и растворов по результатам их испытаний, а также виды и способы изготовления изучались в дисциплине «Строительные материалы».

В настоящем учебнике в дальнейшем рассматривается кладка, выполненная из кирпича, но необходимо иметь в виду, что при применении других каменных материалов расчет выполняется аналогично.

Для кирпичной кладки чаще всего применяют следующие виды кирпичей: глиняные пластического прессования, глиняные полусухого прессования, силикатные. Как известно из курса «Строительные материалы», они могут быть полнотелыми и пустотелыми, одинарными и полуторными. Для кирпичной кладки чаще применяют цементные и цементно-известковые растворы, в которых известь повышает пластичность раствора, но возможно применение и других растворов.

Испытание кирпичной кладки выполняют на кирпичных столбиках, диаграмма работы такого кирпичного столбика на сжатие приведена на рис. 2.8.



**Рис. 2.8. Диаграмма деформаций каменной кладки при сжатии:**

1 – зона упругих деформаций; 2 – зона пластических деформаций;  
 $R_u$  – временное сопротивление (средний предел прочности сжатию кладки);  
 $\text{tg}\varphi_0 = E_0$  – модуль упругости (начальный модуль деформации)

В каменной кладке возникают упругие и пластические деформации, что учитывается при расчетах каменных конструкций.

Расчетные сопротивления сжатию каменной кладки приводятся в табл. 2–9 СНиП II-22-81, они зависят от состава каменной кладки: марок кирпича, камней, блоков и марок раствора, а также от высоты ряда кладки и др. Для кирпичной кладки расчетные сопротивления приведены в табл. 2.10.

Зависимость между модулем упругости каменной кладки  $E_0$  и временным сопротивлением  $R_u$  принимается по уравнению

$$E_0 = \alpha R_u \quad (2-7)$$

где  $\alpha$  – упругая характеристика каменной кладки. Упругая характеристика каменной кладки используется при расчетах каменных конструкций (табл. 15 СНиП II-22-81). Для кирпичной кладки значения упругой характеристики выборочно приведены в табл. 5.7.

Таблица 2.10

**Извлечение из табл. 2 СНиП II-22-81**

Марка кирпич а или камень	Расчетные сопротивления $R$ , МПа, сжатию кладки из кирпича всех видов и керамических камней со щелевидными вертикальными пустотами шириной до 12 мм при высоте ряда кладки 50-150 мм на тяжелых растворах							
	при марке раствора						при прочности раствора	
	200	150	100	75	50	25	0,2	нулевой
200	3,2	3,0	2,7	2,5	2,2	1,8	1,3	1,0
150	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,7	1,0	0,8
125	-	2,2	2,0	1,9	1,7	1,5	0,9	0,7
100	-	2,0	1,8	1,7	1,5	1,3	0,8	0,6
75	-	-	1,5	1,4	1,3	1,1	0,6	0,5
50	-	-	-	1,1	1,0	0,9	0,5	0,35

*Примечание.* Расчетные сопротивления кладки на цементных растворах марок от 4 до 50 следует уменьшать, применяя понижающие коэффициенты: 0,85 – для кладки на жестких цементных растворах (без добавок извести) и известковых растворах в возрасте до 3 мес; 0,9 – для кладки на цементных растворах (без извести или глины) с органическими пластификаторами.

В каменных конструкциях кроме работы на сжатие возможны случаи работы кладки на растяжение, изгиб или срез. Каменная кладка плохо работает на растяжение, при воздействии на нее растягивающих усилий разрушение может происходить по перевязанному сечению или по горизонтальному шву (по неперевязанному сечению). Прочность неперевязанного сечения зависит от прочности раствора. Специально проектировать каменные конструкции, работающие по неперевязанному сечению, запрещено, но подобная работа возникает в каменной кладке при внецентренном сжатии. Несколько лучше каменная кладка работает на растяжение по перевязанному сечению, но, как и работа кладки на изгиб и срез, подобная работа встречается достаточно редко в небольшом числе конструкций (рис. 1, 2, 3 СНиП II-22-81). Расчетные сопротивления при работе на растяжение, изгиб, срез приводятся в табл. 10, 11, 12 СНиП II-22-81. Ввиду того что подобная работа кирпичной кладки встречается нечасто, соответствующие такой работе схемы и расчетные сопротивления для них в учебнике не приводятся.

Расчетные сопротивления кладки сжатию следует умножать на коэффициенты условия работы  $\gamma_c$ . Для столбов и простенков площадью сечения  $0,3 \text{ м}^2$  и менее коэффициент условия работы  $\gamma_c = 0,8$ . Более подробно см. пп. 3.11, 3.12, 3.13 СНиП II-22-81.

## Примеры

### Пример 2.1.

1. Необходимо найти расчетные сопротивления сжатию следующих материалов:

- ✓ сталь С245 с толщиной проката от 2 до 20 мм;
- ✓ цельная древесина, брус из сосны 2-го сорта с размерами сечения 20x20 см;
- ✓ кирпичная кладка из кирпича глиняного пластического прессования М100 на цементно-известковом растворе М75;
- ✓ тяжелый бетон класса В20 при стандартных условиях твердения;
- ✓ стержневая горячекатаная арматура класса А-III диаметром от 10 до 40 мм.

2. Сравнить и оценить расчетные сопротивления сжатию для указанных материалов.

#### **Решение.**

- ✓ Находим расчетные сопротивления сжатию:
- ✓ для стали см. табл. 2.2 (табл. 51\*СНиП II-23-81\*):  $R_y = 240 \text{ МПа}$ ;
- ✓ для бруса см. табл. 2.4 (табл. 3 СНиП II-25-80):  $R_c = 15 \text{ МПа}$ ;
- ✓ для кирпичной кладки см. табл. 2.10 (табл. 2 СНиП II-22-81):  $R = 1,7 \text{ МПа}$ ;
- ✓ для бетона см. табл. 2.6 (табл. 13 СНиП 2.03.01-84\*):  $R_b = 11,5 \text{ МПа}$ ;
- ✓ для стержневой арматуры см. табл. 2.8 (табл. 22\* СНиП 2.03.01-84\*):  $R_s = 365 \text{ МПа}$ .

Составим сравнительную таблицу расчетных сопротивлений рассмотренных материалов (табл. 2.11).

Таблица 2.11

**Сравнительная таблица расчетных сопротивлений**

Расчетное сопротивление \ Материал	Сталь	Древесина	Каменная кладка	Бетон	Арматура
Обозначение	$R_y$	$R_c$	$R$	$R_b$	$R_s$
Величина, МПа	240	15	1,7	11,5	365
Соотношение расчетных сопротивлений: $R_y/R$ ; $R_c/R$ ; $R/R$ ; $R_b/R$ ; $R_s/R$	141,18	8,82	1,0	6,76	214,7

Из таблицы видно, что если расчетное сопротивление кирпичной кладки принять за единицу, то расчетные сопротивления остальных материалов выше: стали в 141,18 раза, древесины в 8,82 раза, бетона в 6,76 раза, арматуры в 214,7 раза. Приведенная таблица справедлива только для материалов, указанных в примере 2.1, но в целом она показательна. Для железобетона не устанавливается расчетных сопротивлений, так как его прочность зависит от совместной работы бетона и арматуры.

Таблица 2.12

**Ведомость отпускных цен на строительные материалы**

№ п/п	Наименование материала	Единица измерения	Отпускная цена, руб.
1	Сталь разная	т	8242
2	Пиломатериал (обрезная доска)	м <sup>3</sup>	1760
3	Кирпич керамический	тыс. шт.	2780
4	Раствор строительный	м <sup>3</sup>	765
5	Бетон товарный	м <sup>3</sup>	873
6	Арматура для железобетонных конструкций	т	8500

**Примечания:**

1. Данные приведены для одного из регионов Урала и могут отличаться от данных других регионов, цены отслеживаются региональными центрами ценообразования, и сведения о ценах представляются ежеквартально.
2. Более правильно сравнивать стоимость не материалов, а конструкций, выполненных из них, при прочих равных условиях.

**Задачи для самостоятельной работы**

**Задача 2.1.** Найдите расчетные сопротивления растяжению для материалов, рассмотренных в примере 2.1.

**Задача 2.2.** Используя ведомость отпускных цен на строительные материалы одного из Региональных центров ценообразования в строительстве по состоянию на 1-й квартал 2003 г., сравните стоимость следующих материалов (табл. 2.12).