

## Оглавление

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	7
1.1. Область применения.....	7
1.2. Объемно-планировочное решение.....	7
2. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ КАРКАСОВ.....	8
2.1. Каркас здания.....	8
2.2. Рамные каркасы.....	8
2.3. Связевые каркасы.....	9
2.4. Рамно-связевые каркасы.....	11
2.5. Ствольные каркасы.....	11
3. КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ.....	13
3.1. Колонны.....	13
3.2. Ригели.....	13
3.3. Сопряжение ригеля с колонной.....	14
3.4. Стыки колонн.....	16
3.5. Конструкции перекрытий.....	17
4. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	21
4.1. Основные положения.....	21
4.2. Схема работы.....	21
4.3. Нагрузки и воздействия.....	23
4.4. Этапы проектирования.....	25
5. КАРКАС И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК.....	26
5.1. Стержневая система.....	26
5.2. Вертикальная нагрузка.....	27
5.3. Горизонтальная нагрузка.....	29
6. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КАРКАСА.....	32
6.1. Задача статического расчета.....	32
6.2. Расчетная модель рамного каркаса.....	34
6.3. Моделирование дисков перекрытий.....	40
6.4. Приложение нагрузок.....	44
6.5. Комбинации нагрузок.....	50
6.6. Модель с горизонтальными связями.....	52
6.7. Анализ напряженного состояния.....	56
7. РАСЧЕТ СВЯЗЕВОГО КАРКАСА.....	61
7.1. Модель с пластинами.....	61
7.2. Модель с горизонтальными связями.....	64
7.3. Анализ напряженного состояния.....	66
8. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ.....	71
8.1. Выбор элементов.....	71
8.2. Конструктивный расчет ригеля.....	73
8.3. Расчетные длины колонн.....	74
8.4. Конструктивный расчет колонны.....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	78
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	79
Приложение 1. Коэффициенты устойчивости.....	79
Приложение 2. Сортамент двутавров.....	81
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	84

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Для курсового проектирования студентам предлагается выполнить разработку и расчет металлического каркаса прямоугольного в плане многоэтажного здания. Данное задание характеризуется относительно простым объемно-планировочным и конструктивным решением. В качестве несущей системы здания рассматриваются каркасы рамного (Р) и связевого (С) типов, принципиальные схемы которых показаны на рис. 1.

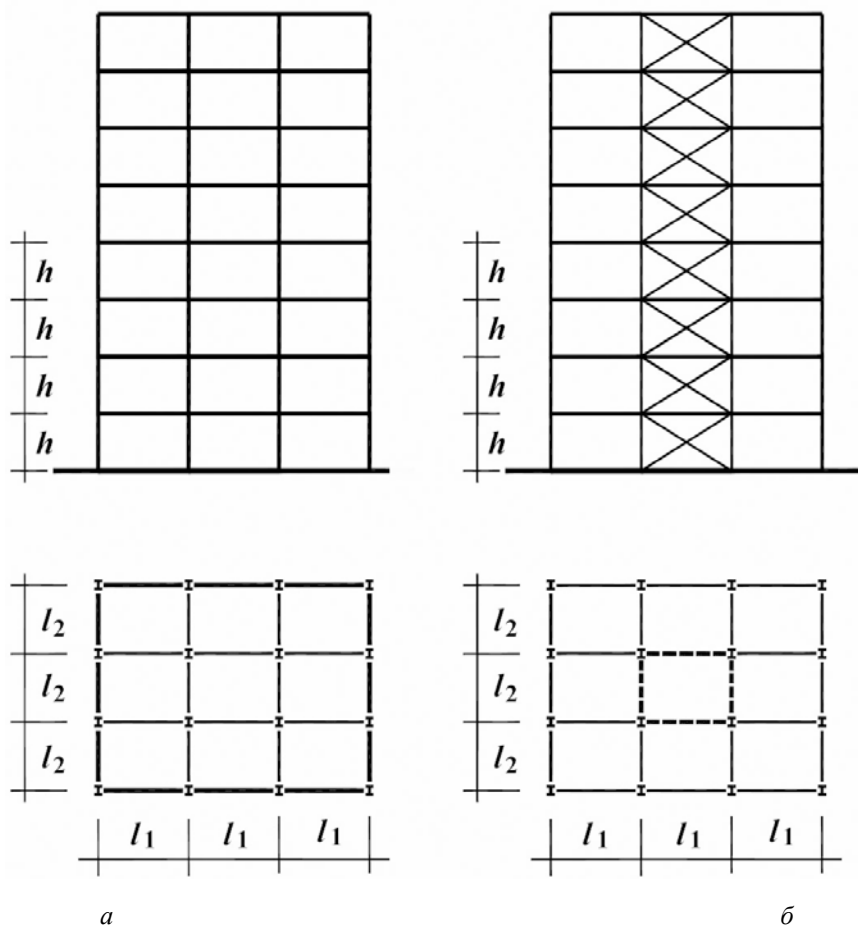


Рис. 1. Схемы каркасов многоэтажного здания: рамный (а), связевой (б)

Задание на проектирование металлического каркаса многоэтажного здания включает в себя базовые данные и дополнительные. При этом базовые данные состоят из трех групп исходных данных: основных параметров, действующих нагрузок и конструктивного решения (табл. 1).

Первая группа данных включает в себя: количество этажей в здании  $k_z$ , высоту этажа  $h_z$ , шаг колонн в продольном направлении  $l_1$  и их число  $n_1$ , шаг колонн в поперечном направлении  $l_2$  и их число  $n_2$ . Во второй группе данных указываются действующие на ограждающие конструкции многоэтажного здания распределенные нагрузки: собственный вес конструкций на перекрытия  $p_d$ , временные длительные нагрузки на перекрытия  $p_l$ , кратковременная нагрузка на перекрытие  $p_t$ , снеговая равномерно распределенная нагрузка  $s$ , ветровая нагрузка на стены  $w$ . В третьей группе данных указываются: тип каркаса Р (С) и его схема, тип ригеля (балка — Б, ферма — Ф), тип колонны (двутавр — Д, труба — Т).

В качестве дополнительных данных предлагаются: выбор схемы рамного (Р) или связевого (С) каркаса, изменение в шаге колонн  $l_{1и}$ , изменение в высоте этажа  $h_{эи}$ , шаг балок настила  $a_{бн}$ , тип настила. Могут быть включены также данные о различных временных нагрузках в разных частях каркаса, комбинировании типов каркасов, изменении регулярности каркаса по высоте и др.

Числовые и буквенные значения базовых данных задания (первой, второй и третьей групп) формируются преподавателем в каждом учебном году перед началом курсового проектирования в виде вариантов с целью обеспечения индивидуального характера работы всех студентов.

## Варианты заданий для курсового проектирования

Базовые данные													Дополнительные данные					
№	$k_э$ , шт.	$h_э$ , м	$n_1$ , шт.	$l_1$ , м	$n_2$ , шт.	$l_2$ , м	Нагрузки, кН/м <sup>2</sup>					Тип каркаса	Тип ригеля	Тип колонны	$l_{1и}$ , м	$h_{эи}$ , м	$a_{БН}$ , м	Тип настила
							$p_d$	$p_l$	$p_t$	$s$	$w$							
1												Р	Б	Д				
2												С	Ф	Т				
...																		

Дополнительные данные подбираются преподавателем в зависимости от уровня подготовки обучающихся. Например, для бакалавров могут быть использованы простые схемы рамных (Р) и связевых (С) каркасов, только базовые данные, в которых назначены небольшие шаги колонн (6 м) и сечения ригеля и колонны из прокатных двутавров. Для специалистов же следует назначать усложненные схемы рамных (Р) и связевых (С) каркасов, пролеты побольше (6, 9, 12 м), составные двутавровые сечения ригеля или ригели в виде ферм, колонны из составных двутавров или труб, а также использовать дополнительные исходные данные. В дополнительных данных можно предложить разные шаги колонн  $l_1$ ,  $l_{1и}$  по длине здания в плане и неодинаковые высоты этажей  $h_э$  по высоте здания. Можно также добавить в каркас здания балки настила на всех перекрытиях и различные типы настилов.

Для магистров следует назначать исходные данные, аналогичные тем, которые даны специалистам, но усложненные различными величинами временных нагрузок на междуэтажных перекрытиях и разными общими высотами каркаса в разных частях здания в плане. Могут быть включены также данные о комбинировании типов каркасов (Р и С) и изменении регулярности каркаса по высоте (разные шаги колонн  $l_1$ ,  $l_2$  в нижних и верхних этажах). При этом проектирование металлических каркасов многоэтажных зданий магистрами, как правило, следует завершать анализом напряженно-деформированного состояния (НДС) всей конструктивной системы, т.е. проектирование должно носить исследовательский характер.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1. Область применения

Многоэтажные здания возводят в городах с плотной застройкой вследствие дефицита и высокой стоимости выделяемых для строительства участков земли. Многоэтажные здания характеризуются тем, что на относительно небольшой застраиваемой площади можно разместить огромную по значению площадь эксплуатируемых помещений [1]. Многоэтажные здания могут быть общественными, промышленными и жилыми, т.е. в них могут размещаться разнообразные офисы, производственные помещения различного назначения или жилые помещения, включая гостиничные номера. Под многоэтажными зданиями подразумеваются здания с числом этажей 2 и более. В то же время здания высотой до 25 этажей называют относительно невысокими, а при высоте более 40 этажей — очень высокими.

Проектирование многоэтажных зданий связано с решением комплекса задач, учитывающих объемно-планировочное решение, работу несущего каркаса, особенности изготовления и монтажа его конструктивных элементов. Кроме того, должны быть приняты решения о размещении инженерных коммуникаций и вертикального транспорта.

Многоэтажные здания из металла могут быть только каркасными. Каркасы из металла рационально использовать в производственных зданиях с большими нагрузками или в гражданских зданиях большой высоты. Это объясняется несколькими причинами:

- металлический каркас вследствие высокой несущей способности материала обладает существенно меньшим собственным весом по сравнению с железобетонным;
- возможно применение больших пролетов несущих конструкций перекрытий, т.е. увеличение шага колонн;
- при возведении металлического каркаса используются элементы полной заводской готовности.

Особенность работы каркасов высоких многоэтажных зданий связана со значительными вертикальными нагрузками на колонны и с большими горизонтальными нагрузками от ветрового воздействия. Проектирование многоэтажного здания напрямую связано с его объемно-планировочным решением, выбором конструктивной схемы, материалов для несущих конструкций, способов их изготовления и монтажа, а также обслуживанием здания в процессе эксплуатации. В данной пособии рассматриваются только те задачи, которые связаны с работой металлического каркаса на силовые воздействия и с конструктивным решением его элементов.

## 1.2. Объемно-планировочное решение

Объемно-планировочное решение многоэтажного здания должно удовлетворять функциональным и санитарным требованиям согласно назначению помещений. Похожие по назначению помещения размещаются в типовых или повторяющихся по планировке этажах. Входные блоки, большие залы и инженерное оборудование размещают в специальных или нетиповых этажах.

Объемно-планировочные решения многоэтажных зданий должны соответствовать модульной сетке разбивочных осей и высот этажей. Например, для общественных зданий обычно применяют следующие сетки разбивочных осей в плане [2, 3]: 6×6, 6×9, 6×12, 9×9, 9×12, 12×12 м. Высоту этажей для них принимают равной 3,6 и 4,2 м.

Форма многоэтажного здания в плане и его высота, которые определяют его пространственную композицию, зависят от градостроительных факторов, природно-климатических условий, технологических возможностей строительства, а также экономической целесообразности. Многоэтажные здания по геометрической форме в плане классифицируются на квадратные, круглые, прямоугольные, X-образные, Y-образные, Z-образные и др. Эта форма во многом зависит от высоты многоэтажного здания: чем выше здание, тем сложнее его конфигурация в плане.

## 2. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ КАРКАСОВ

### 2.1. Каркас здания

По конструктивному признаку многоэтажные здания из металла являются каркасными. Каркас многоэтажного здания выполняет несущую функцию, заключающуюся в восприятии и передаче на фундамент всех действующих на каркас силовых факторов. Каркас представляет собой пространственную систему несущих конструктивных элементов стержневого типа, обеспечивающих его прочность, устойчивость и необходимую жесткость. Любые силовые воздействия на многоэтажное здание через ограждающие конструкции передаются на каркас, что приводит к включению в работу в той или иной степени всех его элементов. Это достигается специальным размещением отдельных элементов каркаса в пространстве по отношению друг к другу и передачей усилий между ними через узловые сопряжения. Поэтому каркасы многоэтажных зданий могут быть представлены как стержневые пространственные системы.

В зависимости от распределения функций в системе обеспечения пространственной жесткости и устойчивости, а также способа восприятия вертикальных и горизонтальных нагрузок каркасы разделяют на четыре типа [1, 3]: рамные, связевые, рамно-связевые и ствольные.

### 2.2. Рамные каркасы

Рамные каркасы состоят из жестко соединенных между собой в узлах вертикальных (колонн) и горизонтальных (ригелей) элементов во всех направлениях, образующих пространственные рамы. Обычно такие рамы имеют в плане прямоугольную сетку разбивочных осей, которые совпадают с направлениями ригелей на всех этажах. Рамная система самостоятельно воспринимает как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки, и передает их на фундамент. Жесткость рамной системы определяется жесткостью сечений вертикальных и горизонтальных стержней и жестким сопряжением их между собой в узлах (рис. 2.1).

Обычные рамные каркасы образуются путем жесткого соединения ригелей на всех этажах с колоннами во всех шагах и по всем направлениям, что обеспечивает равномерную передачу нагрузок на фундамент.

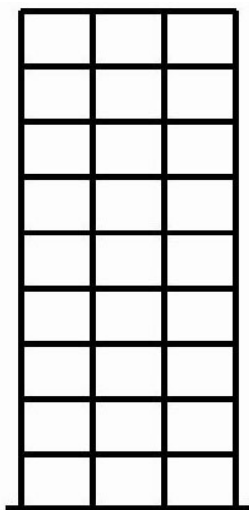


Рис. 2.1. Разрез рамного каркаса многоэтажного здания

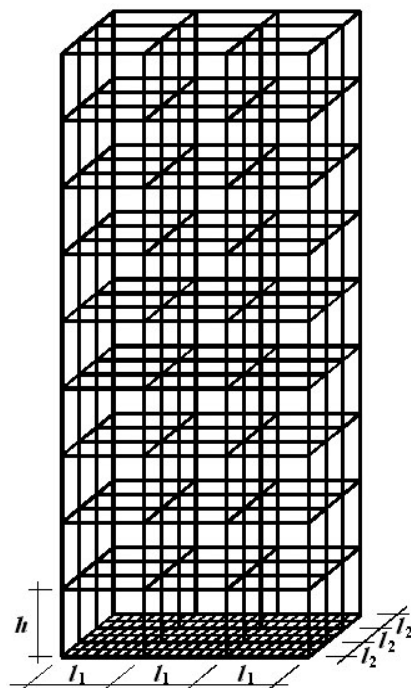


Рис. 2.2. Общий вид рамного каркаса многоэтажного здания

В уровнях междуэтажных перекрытий этих каркасов колонны объединены горизонтальными «дисками», образованными ригелями, балками настилов и замоноличиванием стыков железобетонных плит либо сплошной бетонной заливкой по профилированному стальному настилу.

В обычных рамных каркасах колонны располагают регулярно (рис. 2.2), например, с шагами  $l_1 \times l_2 = 9 \times 6$  м. В рамном каркасе из-за неравномерного распределения усилий в колоннах от горизонтальных нагрузок в пределах одного этажа высотой  $h$  затруднена их унификация. Это приводит к перерасходу стали, поэтому рамные каркасы применяют при высоте здания до 30 этажей. Кроме того, устройство жестких сопряжений во всех узлах существенно повышает трудоемкость возведения каркаса.

Проектируют также каркасы с рамами только по контуру многоэтажного здания. В этом случае образуется внеш-

няя пространственная рама, которая обеспечивает общую изгибную жесткость всего каркаса здания. При прямоугольных в плане каркасах, у которых одна из сторон намного больше другой, устанавливается секционно-рамная система (рис. 2.3).

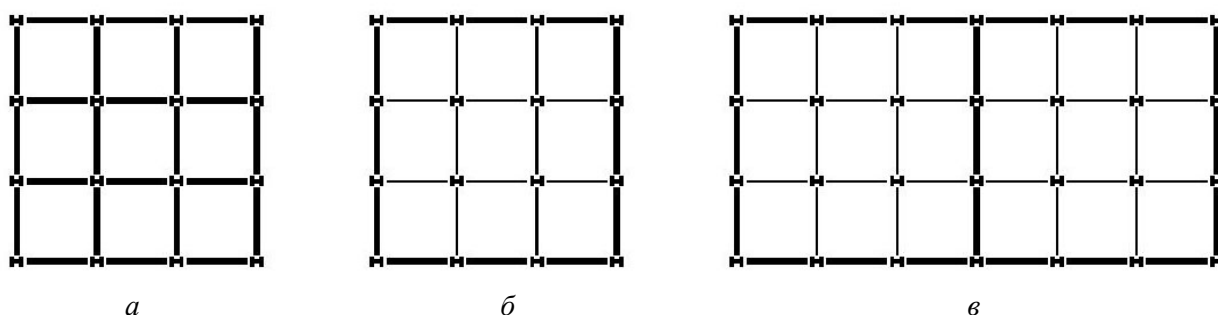


Рис. 2.3. Схемы рамных систем каркасов в плане: обычная (а), внешняя (б), секционно-рамная (в)

Секционно-рамная система разделяет каркас на отдельные части, каждая из которых обрамлена внешней рамой. Таких частей может быть две и более. Благодаря появлению внутренней рамы между секциями жесткость каркаса многоэтажного здания существенно повышается.

### 2.3. Связевые каркасы

Связевые каркасы проектируют в виде вертикальных связей по всей высоте здания, образующих вместе с ригелями и колоннами вертикальные (связевые) фермы. Эти связевые фермы расположены на некотором расстоянии друг от друга и соединены горизонтальными «дисками» перекрытий. Поэтому они работают совместно, чем обеспечивают горизонтальную жесткость каркаса многоэтажного здания.

По расположению связевых ферм на плане здания различают каркасы: с диафрагмами, с внутренним стволом, с внешним стволом (рис. 2.4).

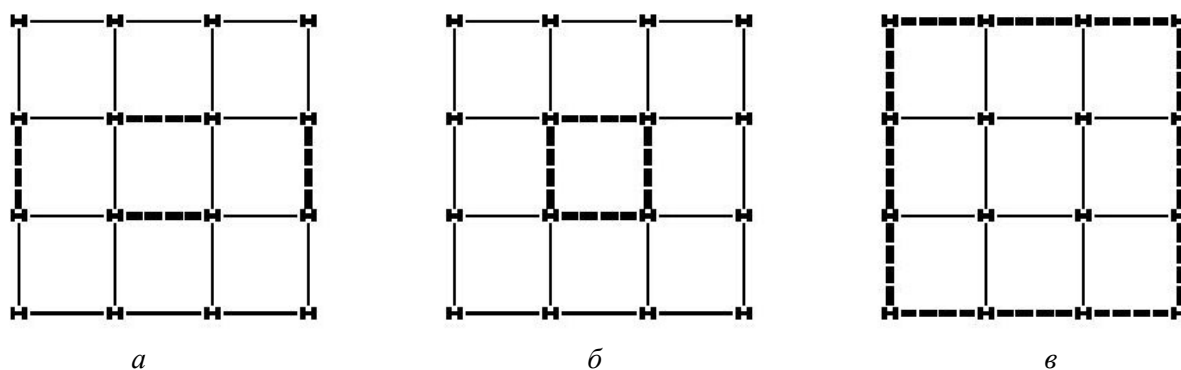


Рис. 2.4. Схемы связевых систем каркасов в плане: каркас с диафрагмами (а), с внутренним стволом (б), с внешним стволом (в)

Горизонтальная ветровая нагрузка через «диски» перекрытий, образованных монолитными настилами по балкам, передается на вертикальные связевые фермы и воспринимается ими, а вертикальная нагрузка воспринимается ригелями и колоннами, которые конструируют с шарнирными узловыми сопряжениями. Горизонтальные перемещения связевого каркаса многоэтажного здания определяются деформациями связевых ферм, работающих на изгиб как вертикальные решетчатые плоские стойки, жестко закрепленные в фундаменте, т.е. консоли. Только они определяют жесткость каркаса в горизонтальном направлении.

Для связевых каркасов многоэтажных зданий применяют разные типы решеток в диафрагмах и внутренних стволах: раскосную, крестовую и полураскосную (рис. 2.5).

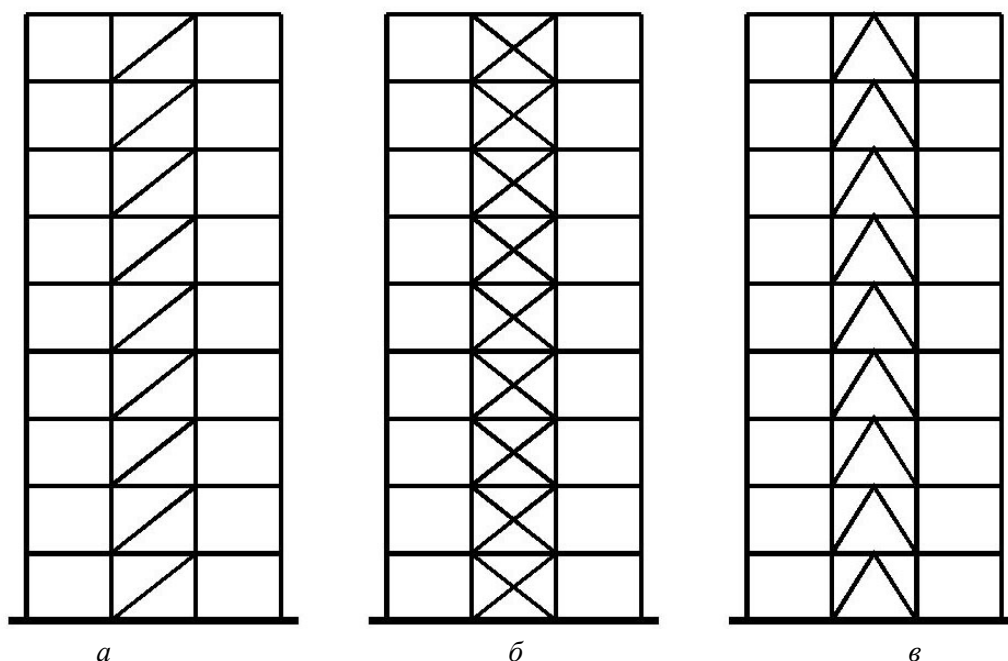


Рис. 2.5. Типы решеток в диафрагмах и ствoлах связевых каркасов: раскосная (а), крестовая (б), полураскосная (в)

Диафрагмы представляют собой отдельные плоские вертикальные фермы. Ядро жесткости (внутренний ствол) представляет собой пространственную ферму. И диафрагмы, и внутренний ствол следует размещать симметрично относительно главных осей здания с целью предотвращения закручивания его каркаса. Часто в связевых каркасах многоэтажных зданий проектируют несколько внутренних стволов.

Поскольку эффективность работы ферм определяется расстоянием между их поясами, то внешний ствол лучше всего обеспечивает горизонтальную жесткость каркаса (рис. 2.6). Возможно одновременное использование внешнего ствола и одного или нескольких внутренних, что при увеличении пролетов ригелей иногда позволяет обойтись без промежуточных колонн.

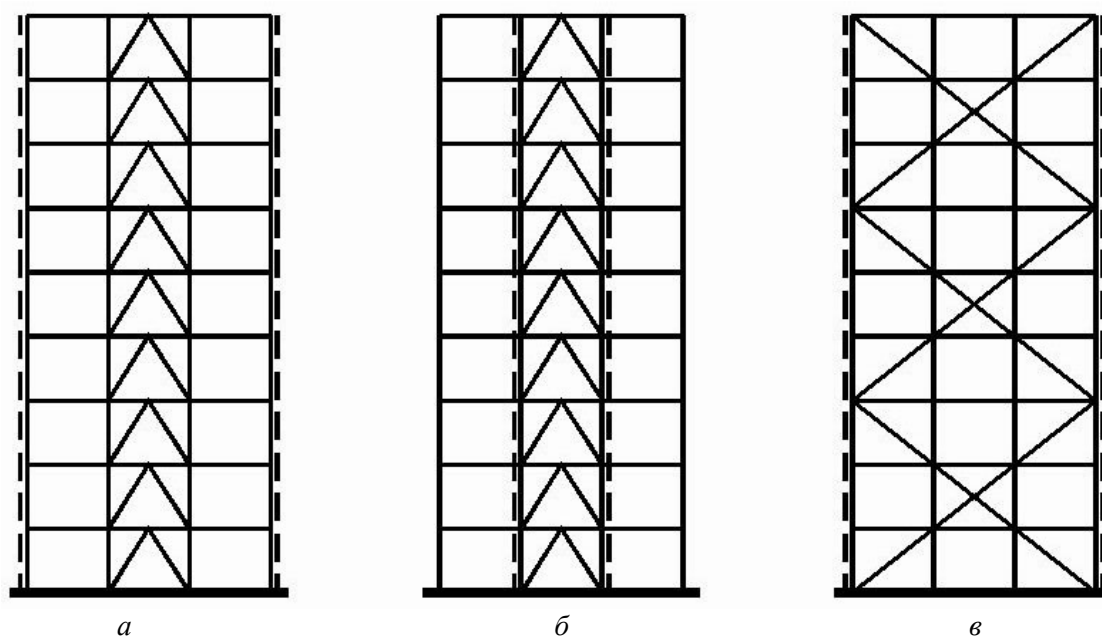


Рис. 2.6. Схемы связевых систем каркасов в разрезе: с диафрагмами (а), с внутренним стволom (б), с внешним стволom (в)

Связевые каркасы работают на горизонтальную нагрузку эффективнее рамных каркасов. Это объясняется тем, что большинство колонн в связевых каркасах ориентированы преимущественно на продольную силу, т.е. значительно уменьшается изгибная составляющая по сравнению с вертикальными элементами рамных каркасов. При этом предпочтение следует отдавать каркасам с внешним стволом.

## 2.4. Рамно-связевые каркасы

В каркасах многоэтажных зданий используются и комбинированные системы, состоящие из рам с жесткими сопряжениями ригелей с колоннами и вертикальных связевых ферм с шарнирными узлами стержней в узлах, которые называют рамно-связевыми.

Примерами таких каркасов служат: рамные каркасы с горизонтальными поясами жесткости в виде ферм-ростверков; рамы с фермами-ригелями через этаж; каркасы с сочетанием горизонтальных ферм-поясов жесткости и вертикальных связевых ферм-диафрагм (рис. 2.7).

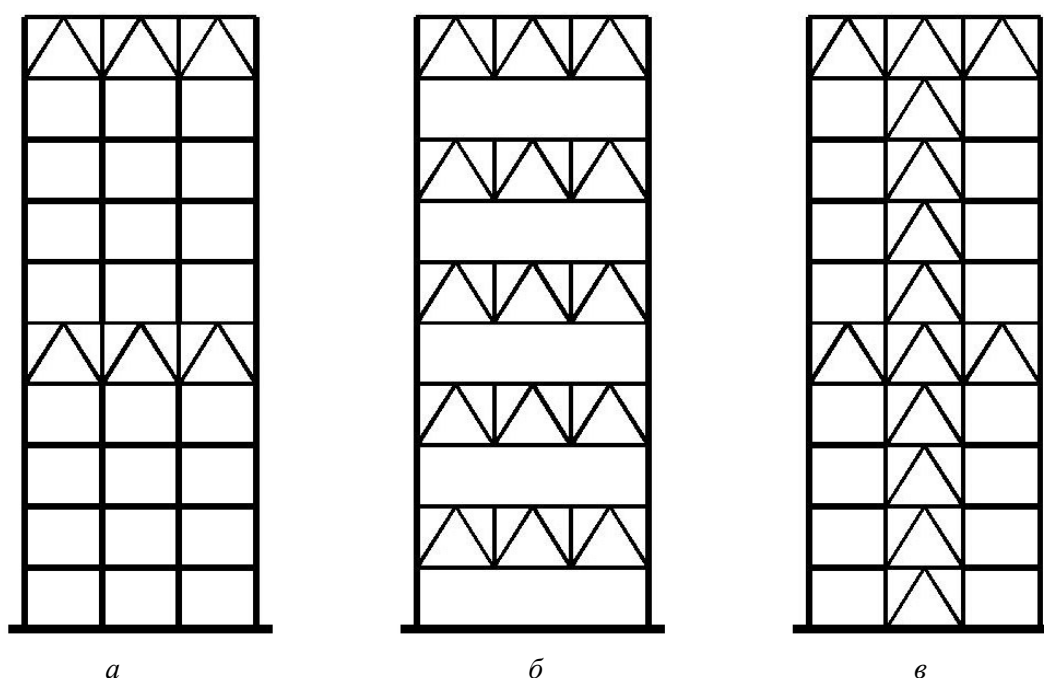


Рис. 2.7. Виды рамно-связевых каркасов: каркасы с фермами-ростверками (а), с фермами-ригелями (б), с фермами-поясами и вертикальными диафрагмами (в)

Включение поясов жесткости в рамные каркасы позволяет существенно уменьшить деформации системы от горизонтальных нагрузок, так как они сопротивляются перекосу ячеек рамы и сдвигу колонн смежных по высоте этажей. Фермы-ростверки способствуют также более полному включению колонн в сопротивление горизонтальным нагрузкам по всей площади каркаса многоэтажного здания. В каркасах с фермами-поясами, объединенными с вертикальными диафрагмами, в работу на действие горизонтальных нагрузок включаются колонны, находящиеся в составе диафрагм. При этом горизонтальные перемещения уменьшаются на 30–40 %.

## 2.5. Ствольные каркасы

В ствольных каркасах используются мощные опоры-стволы в виде башен. К этим стволам осуществляется прикрепление всех остальных элементов каркаса здания. Ствол чаще всего представляет собой мощную консольную стойку в виде железобетонной оболочки круглого (цилиндрического) или прямоугольного (коробчатого) сечения (чаще всего квадратного). Возможен также ствол как консольная стойка в виде стальной решетчатой призмы квадратного сечения. В послед-



нем случае ствол представляет собой геометрически неизменяемую стержневую систему в виде пространственной фермы.

Ствол воспринимает от элементов каркаса многоэтажного здания все действующие горизонтальные и вертикальные нагрузки и передает их на фундамент. Поэтому к нему предъявляются особые требования по несущей способности и надежности. Остальные элементы каркаса многоэтажного здания служат только для восприятия локальных нагрузок с целью передачи их на несущий ствол.

Примерами ствольных каркасов многоэтажных зданий служат (рис. 2.8): каркасы с этажами, опирающимися на консольные балки междуэтажных перекрытий; с этажами, установленными на консольные фермы-ростверки, т.е. опирающимися непосредственно; с подвешенными к консолям ферм-ростверков этажами или перекрытиями. Если в установленных на консоли этажах колонны работают по обычной схеме — на сжатие, то в подвешенных этажах колонны служат подвесками, т.е. в них возникают преимущественно растягивающие усилия. Возможны также различные вариации из приведенных схем.

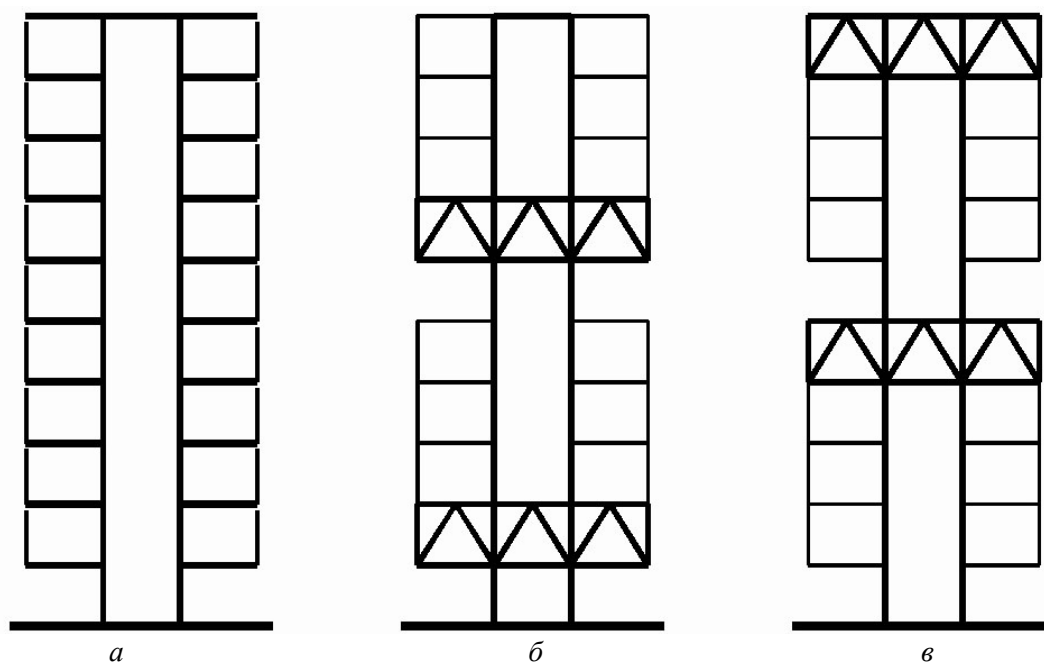


Рис. 2.8. Ствольные каркасы с этажами на консольных балках (а), с этажами на консольных фермах (б), с подвешенными перекрытиями (в)

Наибольшее же распространение получили ствольные каркасы с консольными балками перекрытий — из-за относительно равномерного распределения усилий от вертикальных нагрузок в примыкающих к стволу элементах каркаса по всем этажам здания.

### 3. КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ

#### 3.1. Колонны

Колонны — основные конструктивные элементы каркасов многоэтажных зданий. Колонны в связевых системах воспринимают только сжимающие усилия, а в рамных — преимущественно сжимающие усилия с изгибом в одной или двух плоскостях. В рамно-связевых системах характер работы и величина усилия в колонне зависят от места ее положения в каркасе.

В современном строительстве применяются в основном колонны составного сплошного сечения на сварке [1, 4].

Наибольшие сжимающие усилия воспринимают колонны с сечениями из пакета пластин и комбинированными сечениями, наименьшие — из прокатного двутавра и из уголков. Наиболее технологичными являются двутавровые составные сечения колонн, в которых можно назначать достаточно толстые стенки и полки. Однако они, как сечения открытого профиля, плохо сопротивляются кручению. Для работы на кручение рационально применение колонн из труб, но они менее технологичны из-за круглого сечения, поскольку усложняют сопряжение колонн и ригелей (рис. 3.1).

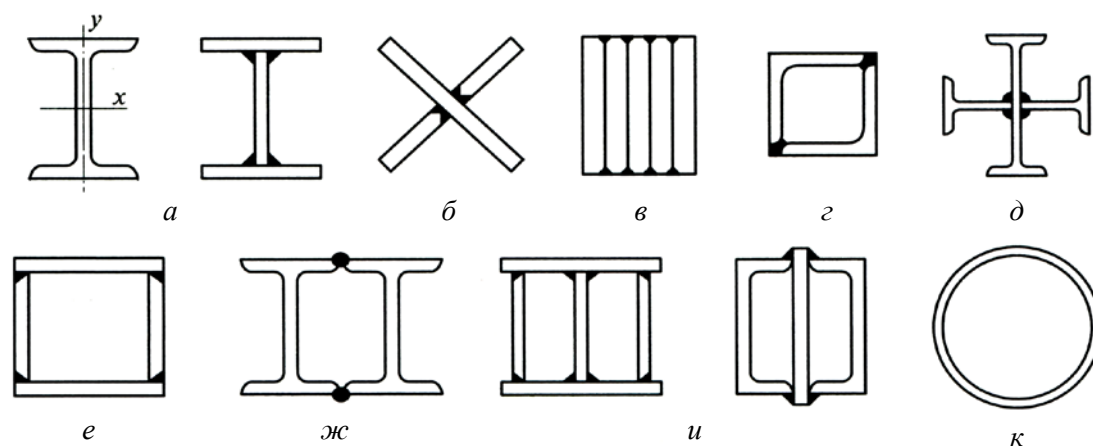


Рис. 3.1. Виды сечений колонн каркасов многоэтажных зданий: двутавровое (а), крестовое (б), из пакета пластин (в), из уголков (г), из тавров (д), коробчатое (е), из двутавров (ж), комбинированное (и), трубчатое (к)

#### 3.2. Ригели

Ригели работают преимущественно на изгиб с небольшими продольными усилиями от горизонтальной ветровой нагрузки. При небольших пролетах (до 12 м) применяют в основном сплошные ригели из прокатных и составных двутавров или двутавров с перфорированной стенкой, а также балки коробчатого сечения [1, 4] (рис. 3.2).

При пролетах более 12 м используют фермы с поясами из парных уголков и тавров. При пролетах 24 м и более фермы проектируют тяжелыми с мощными стержнями поясов и решетками из двутавров или из Н-образных профилей с двумя плоскостями решеток [1, 4] (рис. 3.3).

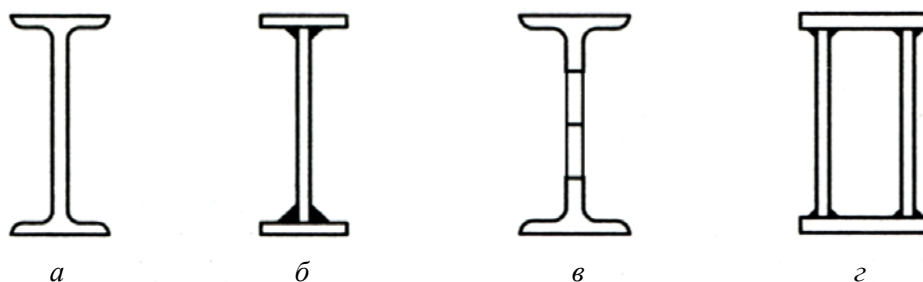


Рис. 3.2. Виды сечений сплошных ригелей каркасов многоэтажных зданий: балка из прокатного двутавра (а), балка из составного двутавра (б), балка из двутавра с перфорированной стенкой (в), коробчатая балка (г)

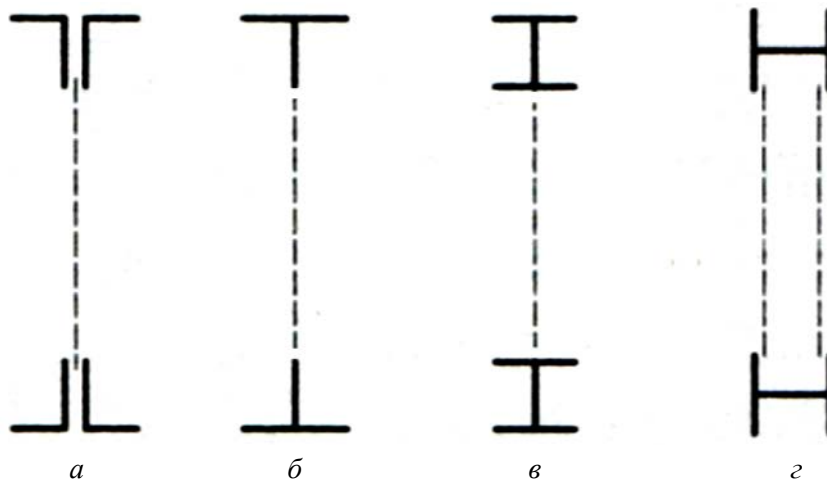


Рис. 3.3. Виды сечений ригелей-ферм каркасов многоэтажных зданий: ферма из уголков (а), ферма из тавров (б), ферма из двутавров (в), ферма из Н-образных профилей (г)

### 3.3. Сопряжение ригеля с колонной

Вид сопряжения ригелей с колоннами зависит от типа несущего каркаса многоэтажного здания [1, 3, 4].

В связевых каркасах применяют **шарнирное сопряжение** ригеля с колонной, которое проектируется так, чтобы изгибающие моменты не передавались с одного элемента на другой. Для этого достаточно передать вертикальную опорную силу ригеля через дополнительные элементы (фасонки и столики). Ригели прикрепляются к ним при помощи болтовых соединений непосредственно через стенку двутавра или установки опорного фланца двутавра на специальную пластину-столлик (рис. 3.4).

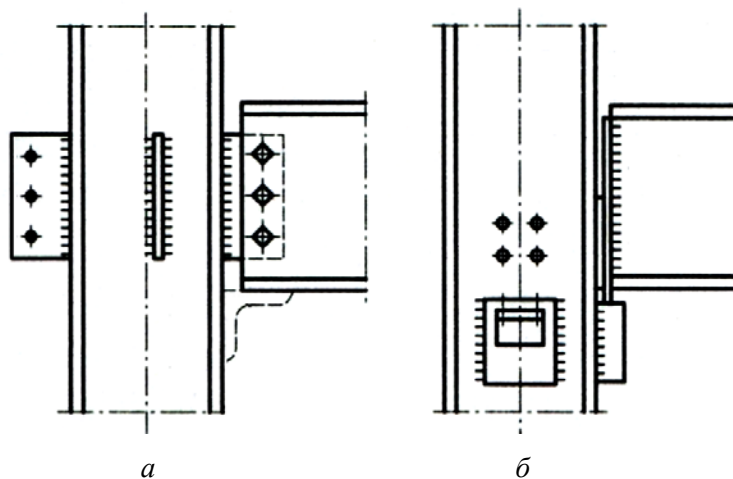


Рис. 3.4. Шарнирное сопряжение ригеля с колонной при помощи вертикальных фасонки (а), при помощи опорных столиков (б)

В рамных каркасах используют **жесткое сопряжение** ригеля с колонной, которое должно передавать изгибающие моменты с одного элемента на другой. Для этого уже недостаточно передавать только вертикальную опорную силу через стенку двутавра ригеля. Нужно еще передавать усилия в его поясах, для чего верхний и нижний пояса двутавра ригеля обязательно соединяют с колонной разными способами. Такое соединение, например, может быть создано при помощи усиленного болтового соединения опорного фланца, подкрепленного в растянутой зоне ребрами. Жесткое соединение может быть сформировано при помощи сварки (пояса крепятся непосредственно к поясу колонны, а стенки — к вертикальному ребру на поясе колонны). Возможно также

соединение поясов и стенки двутавра-ригеля при помощи накладок со специально устроенной на колонне двутавровой консолью такого же сечения (рис. 3.5).

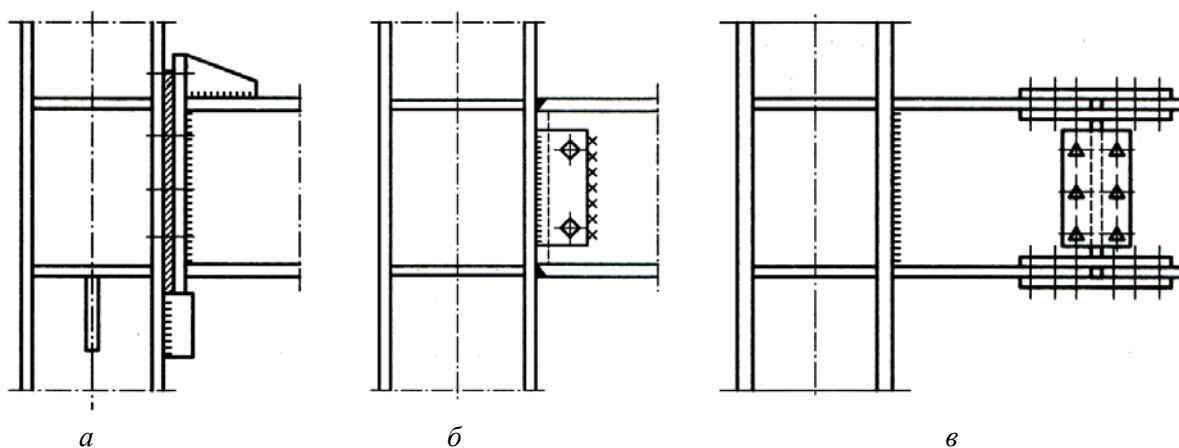


Рис. 3.5. Жесткое сопряжение ригеля с колонной при помощи опорного фланца (а), сварки поясов и стенки (б), накладок и консоли на колонне (в)

Существует большое разнообразие конструктивных решений как шарнирных соединений ригелей с колоннами (рис. 3.6), так и жестких соединений ригелей с колоннами (рис. 3.7) в каркасах многоэтажных зданий.

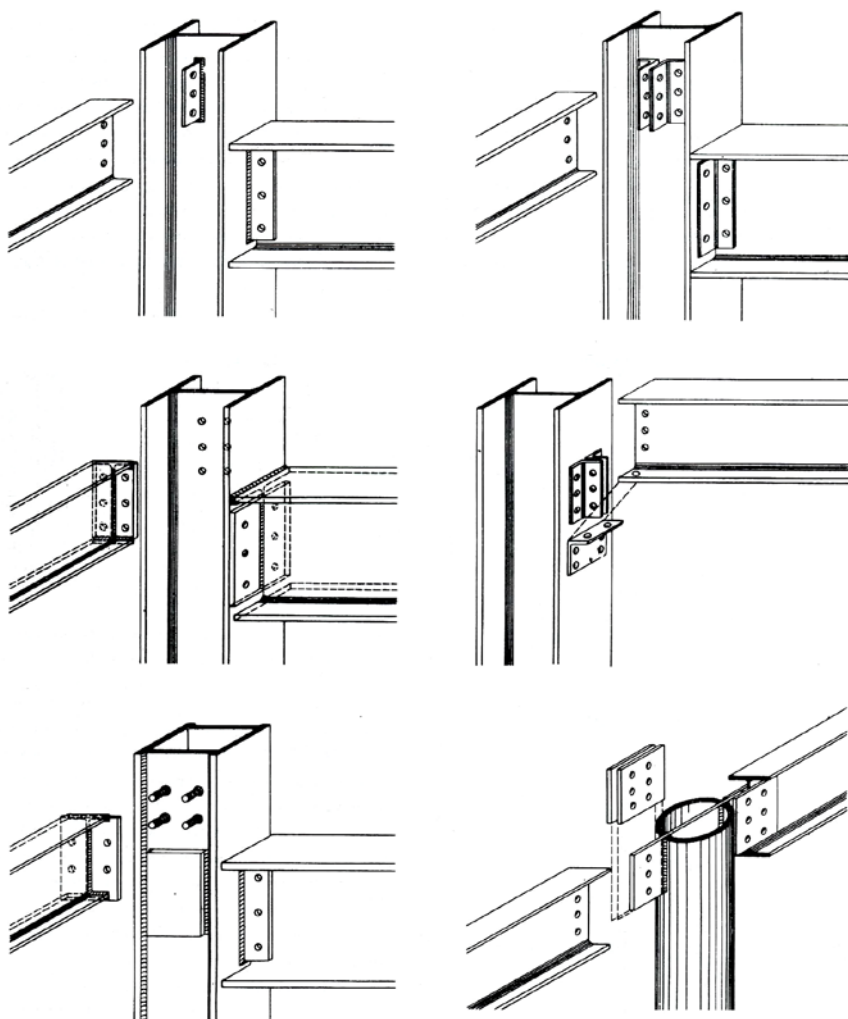


Рис. 3.6. Примеры шарнирных сопряжений ригелей с колоннами [5]

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)