

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАРКАСОВ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ..... | 5 |
| 1.1. Общая характеристика каркасов производственных зданий..... | 5 |
| 1.2. Состав каркаса..... | 6 |
| 1.3. Крановое оборудование..... | 8 |
| 1.4. Виды сопряжения элементов каркаса..... | 9 |
| 1.5. Действительная работа каркаса под нагрузкой..... | 12 |
| 1.6. Размещение колонн в плане..... | 14 |
| 1.7. Компоновка поперечной рамы (П-образной симметричной)..... | 16 |
| 1.8. Связи каркаса..... | 19 |
| 1.9. Фахверк и конструкции заполнения проёмов..... | 22 |
| 1.10. Нагрузки на раму..... | 24 |
| 1.11. Учёт пространственной работы каркаса при расчёте поперечных рам..... | 37 |
| 1.12. Особенности расчёта рам при различных нагрузках..... | 40 |
| 1.13. Проверка жёсткости поперечных рам..... | 40 |
| 1.14. Определение расчётных усилий в элементах рамы..... | 40 |
| 2. КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЯ..... | 42 |
| 2.2. Фермы..... | 45 |
| 2.3. Действительная работа ферм..... | 54 |
| 3. КОЛОННЫ..... | 56 |
| 3.1. Типы колонн..... | 56 |
| 3.2. Расчётные длины колонн..... | 56 |
| 3.4. Расчёт решётчатой нижней части колонны..... | 60 |
| 3.5. Узлы колонн..... | 64 |
| 4. ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ..... | 70 |
| 4.1. Характеристика подкрановых конструкций..... | 70 |
| 4.2. Конструктивные решения..... | 70 |
| 4.3. Нагрузки на подкрановые балки..... | 71 |
| 4.4. Определение расчётных усилий в подкрановых балках..... | 72 |
| 4.5. Подбор сечения подкрановых балок..... | 78 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 80 |

1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАРКАСОВ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

1.1. Общая характеристика каркасов производственных зданий

Современные производства размещаются в многоэтажных и одноэтажных зданиях, схемы и конструкции которых достаточно многообразны.

По числу пролётов одноэтажные здания подразделяются на однопролётные и многопролётные (с пролётами одинаковой и разной высоты).

Ограждающие конструкции, защищающие помещение от влияния внешней среды, пути внутрицехового транспорта, различные площадки, лестницы, трубопроводы и другое технологическое оборудование крепятся к каркасу здания.

Каркас, т.е. комплекс несущих конструкций, воспринимающий и передающий на фундаменты нагрузки от массы ограждающих конструкций, технологического оборудования, атмосферные нагрузки и воздействия, нагрузки от внутрицехового транспорта (мостовые, подвесные, консольные краны), температурные технологические воздействия, может быть из железобетона, смешанным (т.е. частично — из железобетона, частично — из стали) и стальным. Выбор материала каркаса является важной технико-экономической задачей.

Пример конструктивной схемы стального каркаса двухпролётного производственного здания показан на рис. 1.1.

По виду внутрицехового транспорта здания подразделяются на бескрановые, с мостовыми кранами, подвесными кранами, подвесными конвейерами. Выбор вида транспорта определяется массой грузов и траекториями их перемещения.

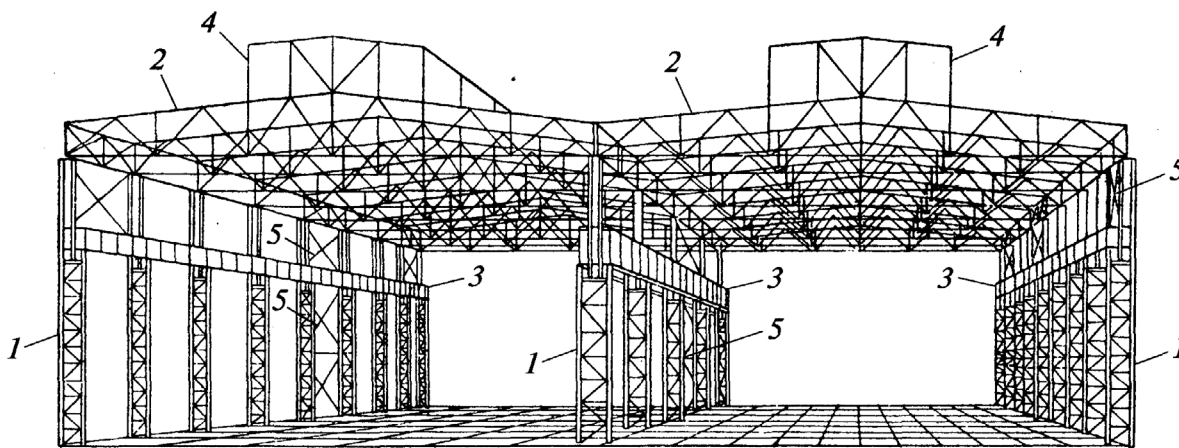


Рис. 1.1. Конструктивная схема каркаса двухпролётного производственного здания:
1 — колонны; 2 — стропильные фермы; 3 — подкрановые балки;
4 — светоаэрационные фонари; 5 — связи между колоннами

При стабильных, многократно повторяющихся траекториях наиболее удобны наземные и подвесные конвейеры. Для перемещения грузов с большой массой по разнообразным траекториям более целесообразными оказываются мостовые и подвесные краны, с помощью которых груз может быть доставлен в любую точку цеха. Такие же перемещения могут обеспечивать козловые и полукозловые краны, но их применение требует исключения части площади цеха из технологического процесса в целях безопасной эксплуатации.

Многие современные производственные здания характеризуются большими пролётами, большой высотой помещений, большими нагрузками от мостовых кранов. Например, конверторный цех (с тремя конверторами объёмом 400 м³) занимает площадь около 3 га и представляет собой многопролётное многоэтажное здание с пролётами шириной 15–30 м и высотой до 80 м. Здание оборудовано мостовыми кранами грузоподъёмностью до 450 т. В машиностроительной промышленности есть здания высотой 40–60 м с мостовыми кранами грузоподъёмностью до 1200 т.

Конструкция здания должна полностью удовлетворять назначению сооружения, быть надёжной, долговечной и экономичной.

В промышленных зданиях по сравнению с другими наиболее существенно влияние технологии производства на конструктивную схему каркаса, поэтому конструктивная форма часто полностью определяется габаритными размерами и расположением оборудования, внутрицеховым транспортом, путями перемещения деталей и готовой продукции. Технологии производства различной продукции весьма разнообразны, а эксплуатационные требования почти всегда конкретны, специфичны именно для данного производства. Однако некоторые требования являются общими для всех производств. Это:

- удобство обслуживания и ремонта производственного оборудования, что требует соответствующего расположения колонн, подкрановых путей, связей и других элементов каркаса;
- нормальная эксплуатация кранового оборудования и других подъёмных механизмов, включая доступность его осмотра и ремонта;
- необходимые условия аэрации и освещения зданий;
- долговечность конструкций, которая зависит, в основном, от степени агрессивности внутрицеховой среды;
- относительная безопасность при пожарах и взрывах.

1.2. Состав каркаса

Каркасы производственных зданий в большинстве случаев проектируются так, что несущая способность и жёсткость поперёк здания обеспечивается поперечными рамами, а вдоль — продольными элементами каркаса, кровельными и стеновыми панелями.

Поперечные рамы каркаса состоят из колонн (стоек рамы) и ригелей (в виде ферм или сплошностенчатых элементов).

Продольные элементы каркаса — это подкрановые конструкции, подстропильные фермы, связи между колоннами и фермами, кровельные прогоны (или рёбра стальных кровельных панелей).

Кроме перечисленных элементов, в составе каркаса обязательно имеются конструкции торцевого (а иногда, и продольного) фахверка, площадок, лестниц и других элементов здания.

Конструктивные схемы каркасов достаточно многообразны. В каркасах с одинаковым шагом колонн по всем рядам наиболее простая конструктивная схема — это поперечные рамы, на которые опираются подкрановые конструкции, а также панели покрытия или препоны (рис. 1.2, *а, б*). Такое конструктивное решение обеспечивает выполнение эксплуатационных требований в большинстве машиностроительных цехов, в которых оборудование удобно размещается при относительно небольшом шаге колонн по внутренним рядам (6–12 м). Технологии производств, размещённых во многих цехах металлургического производства (прокатные цехи, цехи разведения слитков и т.д.), также позволяют использовать эту схему. Она удобна для бесфонарных зданий и зданий с продольными фонарями.

При необходимости освещения с помощью поперечных фонарей их конструкции также могут быть использованы для опирания панелей покрытия (рис. 1.2, *а, в*). При необходимости больших шагов колонн по всем рядам можно использовать схему с продольным фонарём, несущим часть нагрузки от покрытия (рис. 1.2, *г*). На конструкции фонаря опираются прогоны, расположенные параллельно фермам. Для опирания другого конца прогонов между колоннами устраивается подстропильная ферма. В случаях повышенных требований по освещённости помещений иногда используются каркасы с шедовым покрытием (рис. 1.2, *д*), в которых на ригели рам опираются конструкции поперечных фонарей, а на них — прогоны или панели покрытия.

При больших пролётах и шагах колонн эффективно применяются каркасы с пространственным ригелем (рис. 1.2, *е*). Ригель рамы выполняется в виде коробчатого сквозного сечения с консолями, на которые опираются конструкции фонаря.

При относительно небольших пролётах используются сплошные рамные каркасы (рис. 1.2, *ж*).

В цехах, где по средним рядам шаг колонн должен быть больше, чем по крайнему ряду, устанавливаются подстропильные фермы, на которые опираются ригели рам (рис. 1.3, *а*, разрез 2—2). При кранах большой грузоподъёмности и с большим расстоянием между колоннами часто оказывается целесообразным совместить функции подстропильных ферм и подкрановых конструкций и предусмотреть по среднему ряду подкраново-подстропильную ферму (рис. 1.3, *б*, разрез 2—2), на верхний пояс которой опирается кровля, а на нижний — краны.

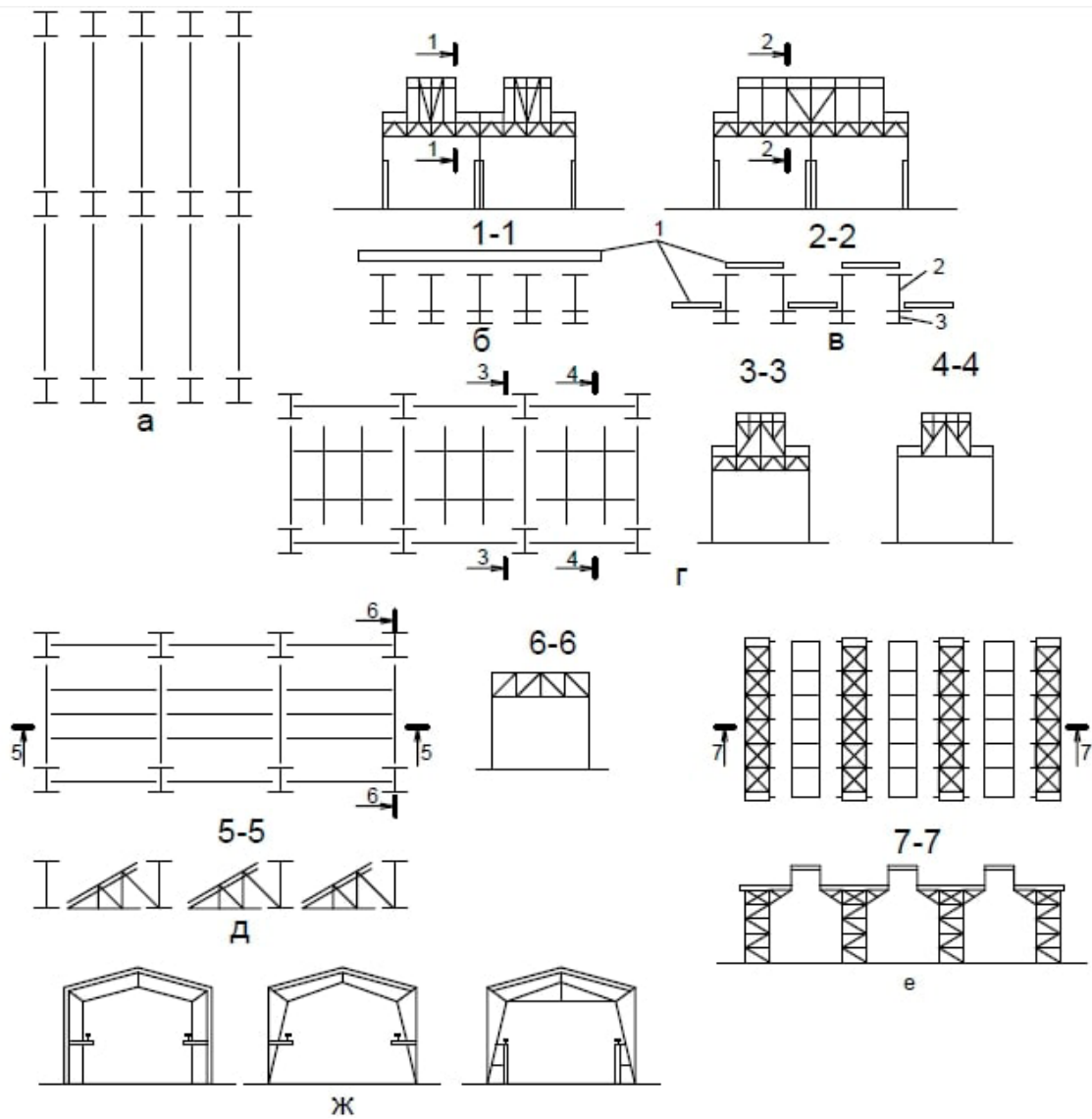


Рис. 1.2. Конструктивные схемы каркасов:

а — план кровли; *б* и *в* — схемы поперечных рам; *г* — план и поперечные рамки каркаса с продольным фонарём; *д* — то же, с шедовым покрытием; *е* — схемы каркаса с пространственным ригелем; *ж* — поперечные рамы сплошнотенчатого сечения; 1 — панель покрытия; 2 — фонарь; 3 — ферма

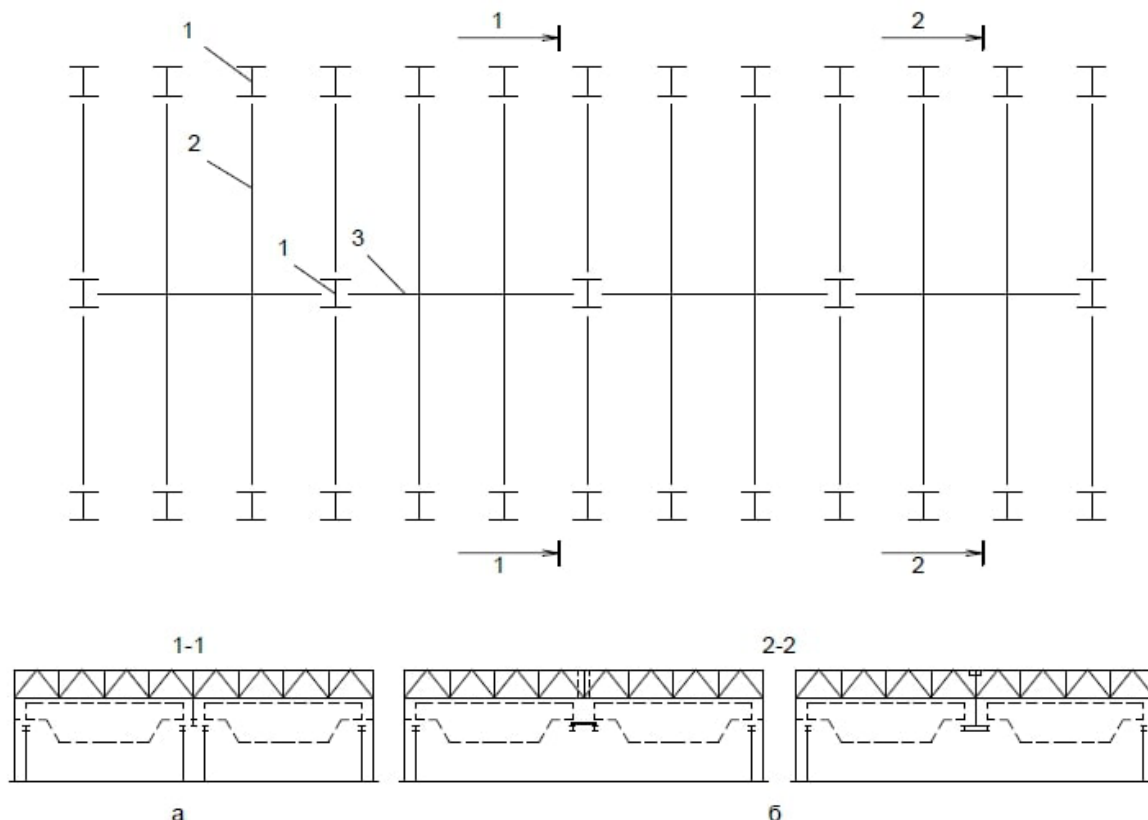


Рис. 1.3. Конструктивные схемы каркасов при большом шаге колонн средних рядов:
а — с опиранием на подстропильную ферму; *б* — с применением подкраново-подстропильной фермы;
 1 — колонна; 2 — ферма; 3 — подстропильная ферма

1.3. Крановое оборудование

Чрезвычайно большое влияние на работу каркаса здания оказывают краны. Динамические многократно повторяющиеся и значительные по величине крановые воздействия часто приводят к раннему износу и повреждению конструкций каркаса, особенно — подкрановых балок. Поэтому при проектировании каркаса здания необходимо особо учитывать режим работы мостовых кранов, который зависит от назначения здания и от производственного процесса в нём.

Мостовые краны могут иметь ручной (при малой грузоподъёмности) и электрический привод. Режим работы кранов определяется интенсивностью и условиями их работы. Интенсивность оценивается рядом показателей (общим числом циклов работы, коэффициентом нагружения, числом включений механизма в час) и не зависит от грузоподъёмности. Условия работы характеризуются типом транспортируемых грузов (расплавленный металл, шлак, ядовитые, взрывчатые вещества и другие опасные грузы). В соответствии с правилами Госгортехнадзора и ГОСТа на грузоподъёмные краны (ГОСТ 25546-82) все краны подразделяются соответственно на четыре режима и восемь режимных групп.

К кранам лёгкого режима работы (Л) относятся краны режимных групп 1К–3К (в том числе все краны, имеющие ручной привод), работающие с большими перерывами, не связанные с технологией производства и предназначенные для монтажных и ремонтных работ.

К среднему режиму работы (С) относятся краны режимных групп 4К, 5К, 6К, участвующие в технологическом процессе в механических цехах со среднесерийным производством. Для кранов, транспортирующих груз, нагретый свыше 300 °С, расплавленный металл и другие опасные грузы, должна быть установлена группа режима не менее 6К.

К тяжёлому режиму работы (Т) относятся краны режимной группы 7К (частично — 6К), работающие в цехах с крупносерийным производством, а также в цехах металлургического производства.

К весьма тяжёлому режиму работы (ВТ) относятся краны группы режима 8К, оборудованные жёстким подвесом, грейфером или магнитом, эксплуатирующиеся в металлургических и других цехах с круглосуточной работой.

Режим работы кранов и тип подвеса груза учитываются при проектировании каркасов. Например, при использовании кранов тяжёлого и весьма тяжёлого режима работы должны быть обеспечены большая поперечная жёсткость каркаса, большая надёжность и выносливость подкрановых балок, а также устроены проходы вдоль подкрановых путей.

На работу и долговечность строительных конструкций здания большое влияние оказывает внутрицеховая среда. Степень агрессивного воздействия внутрицеховой среды на стальные конструкции оценивается скоростью коррозионного поражения незащищённой поверхности металла, мм в год. В зависимости от концентрации агрессивных газов и относительной влажности установлены четыре степени агрессивности среды для стальных конструкций: неагрессивная (скорость коррозии незащищённого металла — до 0,01 мм в год), слабая (до 0,05 мм в год), средняя (до 0,1 мм и год) и сильная (свыше 0,1 мм в год).

При проектировании зданий с сильной степенью агрессивности среды особое внимание обращают на выбор марки стали, достаточно стойкой против коррозии при определённом составе агрессивной среды, на конструктивную форму элементов каркаса и эффективные защитные покрытия.

В некоторых зданиях стальные конструкции подвергаются высоким тепловым воздействиям (нагревание до температуры 150 °С и выше) и случайным воздействиям расплавленного металла или огня. При нагревании стальных конструкций до температуры свыше 100–150 °С разрушается их защитное лакокрасочное покрытие, при нагревании свыше 200–300 °С происходят искривление и коробление элементов (особенно при неравномерном нагреве), а при нагревании свыше 400–500 °С снижаются прочностные свойства стали. При проектировании металлических конструкций таких зданий нужно предусматривать специальную защиту конструкций от чрезмерного нагревания. При длительном воздействии лучистой или конвекционной теплоты или при кратковременном непосредственном воздействии огня применяются подвесные металлические экраны, футеровки из кирпича или жаропрочного бетона; от брызг расплавленного металла и при опасности его прорыва конструкции защищают облицовками из огнеупорного кирпича или жаропрочного бетона.

При проектировании зданий, эксплуатируемых в условиях низких температур (климатический пояс с расчётными температурами от минус 40 до минус 65 °С), с учётом возможности хрупкого разрушения выбирают соответствующие марки стали, проверяют конструкции на хрупкое разрушение, предусматривают дополнительные связи, сокращают размеры температурных отсеков, а также предусматривают мероприятия, уменьшающие концентрацию напряжений.

При проектировании каркасов зданий со взрывоопасным производством предусматривается возможность «сбрасывания» части конструкций при взрыве без полного разрушения каркаса.

При проектировании конструкций степень ответственности зданий и сооружений, определяемая последствиями разрушения, учитывается коэффициентом надёжности по назначению γ_n .

1.4. Виды сопряжения элементов каркаса

Конструктивные схемы каркасов различаются видом сопряжений (жёсткое, шарнирное) ригеля с колонной (рис. 1.4). При жёстком сопряжении конструкция узла крепления фермы к колонне обеспечивает передачу моментов, в расчётной схеме принимается жёсткий узел. При жёстком сопряжении горизонтальные перемещения рам меньше, чем при таких же воздействиях на раму с шарнирным сопряжением.

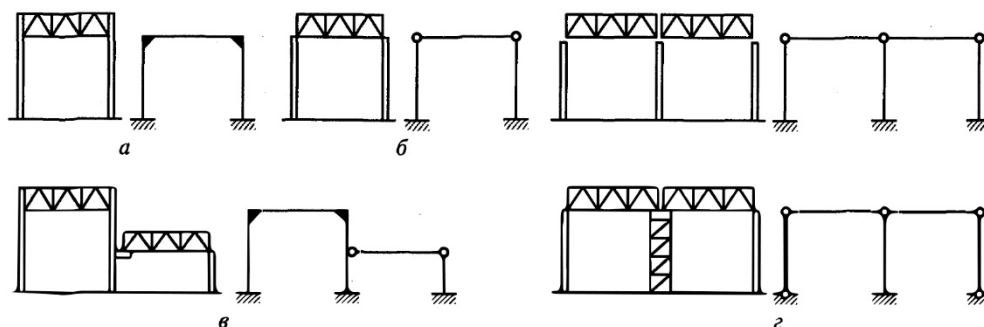


Рис. 1.4. Виды сопряжения ригеля с колонной и расчётные схемы поперечных рам: *a* — при жёстком сопряжении ригеля с колоннами; *б* — то же при шарнирном сопряжении; *в* — комбинированное соединение; *z* — при наличии мощной промежуточной колонны

Большая жёсткость необходима в цехах с мостовыми кранами, работающими весьма интенсивно. В этих цехах горизонтальные перемещения колонн могут препятствовать нормальной эксплуатации мостовых кранов. Однако жёсткое сопряжение препятствует типизации ферм, на которые в этом случае передаются значительные опорные моменты, разные для рам с разными параметрами. Поэтому жёсткое сопряжение можно рекомендовать главным образом для однопролётных каркасов большой высоты при кранах ВТ и Т режимов работы. В остальных однопролётных каркасах более целесообразно шарнирное сопряжение.

В многопролётных цехах горизонтальные нагрузки на одну раму воспринимаются несколькими (а не двумя, как в однопролётных) колоннами, поэтому даже в цехах большой высоты часто оказывается возможным использовать шарнирное сопряжение.

В многопролётных цехах с пролётами разной высоты возможны решения, при которых часть узлов проектируется жёсткими, а часть — шарнирными.

Опирающие колонны на фундаменты в плоскости рам обычно конструируются жёстким, но возможно решение, при котором только часть колонн сопрягается с фундаментом жёстко, а часть — шарнирно. Такое решение часто оказывается экономически выгодным при больших тепловыделениях во время эксплуатации здания.

Подкрановые конструкции в большинстве случаев опираются на колонны каркаса, но возможны и конструктивные решения, при которых внутри цеха проектируется специальная крановая эстакада, состоящая из колонн, связей между ними, подкрановых и тормозных балок. Эстакада на вертикальные нагрузки работает отдельно с каркасом, и такое решение может оказаться целесообразным в тех случаях, когда ожидается (после некоторого срока эксплуатации) увеличение грузоподъёмности мостовых кранов.

Каркасы промышленных зданий изредка проектируются с использованием висячих конструкций, складок, оболочек, структур.

Цель оптимизации конструкций — получение наибольшего экономического эффекта при полном удовлетворении технологических требований к зданию и обеспечении достаточной его надёжности. Критерии оптимальности разнообразны.

Наиболее эффективный путь оптимизации каркасов зданий — это выбор рациональной конструктивной схемы, возможной для проектируемого объекта

Конструктивные решения многообразны, но существуют некоторые общие принципы проектирования экономичных каркасов.

1. *Концентрация материала.* В большинстве случаев выгодно сосредоточить массу в некоторых несущих элементах. При этом часть элементов получается достаточно тяжёлой, но число их сокращается. Например, при больших нагрузках и высотах колонн шаг колонн 12 м оказывается выгоднее, чем 6 м (число колонн и ферм сокращается почти в 2 раза).

2. *Наиболее полное использование прочности всего объёма материала в конструкциях.* Этот принцип реализуется выбором конструктивной схемы с использованием растянутых поверхностей, равнонапряжённых по всей площади, регулированием усилий в плоских и пространственных конструкциях (в том числе и с помощью предварительного напряжения). Например, в неразрезных подкрановых балках прочностные свойства по длине используются лучше, чем в разрезных. Пролётные моменты в первых меньше, чем в разрезных. Численным показателем реализации этого принципа в конструкциях может служить так называемая погруженность, т.е. показатель, в котором учитываются уровень напряжений в конструкциях и объём их материала.

3. *Совмещение функций элементов.* Например, включение конструкций фонаря в работу ригеля рамы приводит к сокращению массы ригеля; при больших шагах колонн подкраново-подстропильная ферма экономичнее отдельно запроектированных подкрановой балки и подстропильной фермы и т.д.

4. *Наименьший путь передачи нагрузок на фундамент.* Например, рамные системы всегда более металлоёмки, чем арочные при одном и том же пролёте. При этом нужно учитывать, что для обеспечения равноценных производственных площадей пролёт арочной системы должен быть больше.

Эти принципы можно использовать при качественном анализе возможных вариантов конструктивных решений, а также при выборе вариантов для последующего применения системы автоматизированного проектирования (САПР). Можно ожидать, что наилучшие результаты даст вариант, который соответствует нескольким общим принципам.

Другой путь экономии материальных средств — это оптимизация в рамках определённой конструктивной формы размеров всей системы и её элементов. При проектировании каркасов промышленных зданий обычно нельзя менять пролёт и высоту помещения цеха (они определяются требованиями технологии), но возможны поиски оптимального шага поперечных рам. Можно проследить, как меняются экономические показатели элементов каркаса традиционных конструкций при изменении шага рам (рис. 1.5).

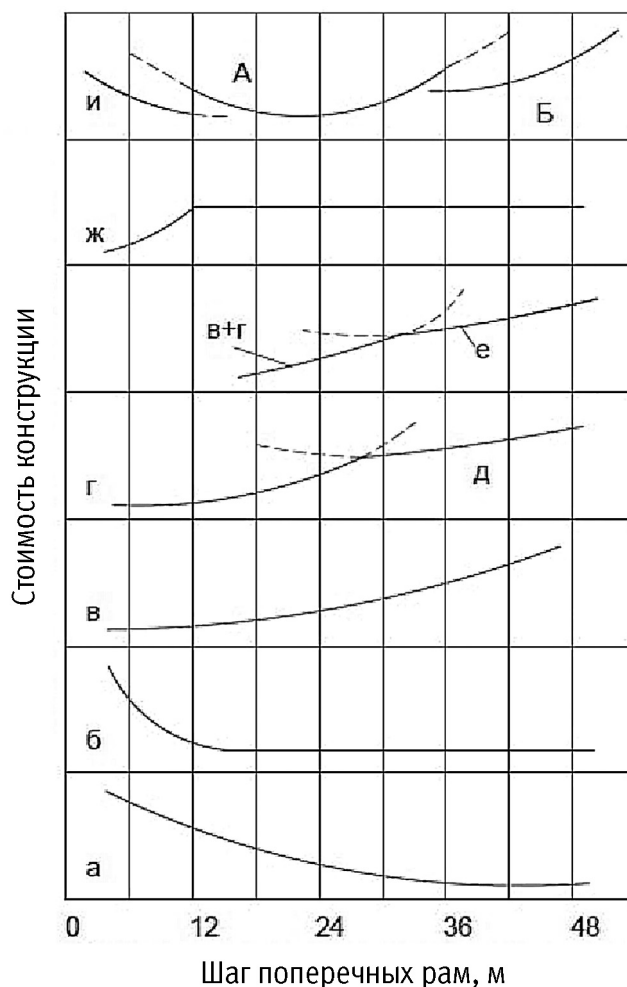


Рис. 1.5. Изменение стоимости конструкций на 1 м² площади цеха в зависимости от шага поперечных рам

Стоимость колонн и фундаментов под них с увеличением шага уменьшается (кривая *а*). Для стропильных ферм (кривая *б*) с увеличением шага от 6 до 12 м стоимость снижается. Масса подстропильных ферм зависит от квадрата шага рам, и график их стоимости (кривая *в*) достаточно резко возрастает. То же можно утверждать и относительно подкрановых балок (кривая *г*). При этом, начиная с некоторого шага, становится выгоднее использовать сквозные подкрановые балки (кривая *д*). Можно заметить шаг 30 м, после которого суммарная стоимость подстропильных ферм и подкрановых балок (кривая *в + г*) становится больше, чем подкраново-подстропильных ферм (кривая *е*). Стоимость конструкций кровли (прогонов, панелей, настилов и т.д.) с увеличением шага от 6 до 12 м возрастает (кривая *ж*). Меняются с изменением шага и массы других конструкций каркаса (связей, фахверка и т.д.). Наличие возрастающих и убывающих графиков указывает на возможность определения минимумов суммарной стоимости (кривая *и*). Скачки на этом графике соответствуют изменению конструктивной формы каркаса (А — переход к покрытию с подстропильными фермами; Б — замена подстропильных ферм и подкрановых балок подкраново-подстропильными фермами).

График суммарной стоимости, а также других экономических показателей (массы стали, удельной трудоёмкости изготовления и монтажа и других) может быть выражен аналитически в виде целевой функции. Это даёт возможность использовать САПР для получения наиболее экономичных конструкций.

САПР эффективно используется при разработке типовых конструкций и их элементов. Целевые функции при этом учитывают увеличение массы конструкций при дискретном назначении её размеров и размеров профилей элементов. При проектировании конструкций индивидуального и мало-серийного изготовления основным методом оптимизации остаётся метод вариантного проектирования с использованием ЭВМ при расчёте вариантов конструктивного решения.

1.5. Действительная работа каркаса под нагрузкой

Пространственная многостержневая конструкция каркаса промышленного здания, воспринимающая и передающая на фундаменты все нагрузки и воздействия, при замене её расчётными схемами расчленяется на плоские системы (поперечные рамы и продольные конструкции). Это приводит к погрешностям в определении усилий, которые при расчёте стальных каркасов частично компенсируются приближённым учётом пространственной работы каркаса.

Расчётная схема поперечной рамы — это многократно статически неопределимая сквозная система с жёсткими узлами (рис. 1.6, а). Общепринято при лёгких фермах пренебрегать жёсткостью узлов при определении усилий, считая их шарнирными (рис. 1.6, б). В дальнейшем жёсткость узлов учитывается (не полностью) при определении расчётных длин стержней фермы. Исследования действительной работы поперечных рам показали, что такое приближение приводит к очень небольшим погрешностям в величине нормальных сил, действующих в стержнях фермы. Определение усилий в системе не очень сложно, но уже в самом начале требует знания моментов инерции и площадей сечений всех стержней системы. Поэтому при расчёте сквозные колонны и ферма заменяются сплошными эквивалентной жёсткости (рис. 1.6, в).

Полученная расчётная схема в зависимости от конструкции сопряжения ригеля с колонной может быть с жёсткими (рис. 1.6, в, д) или шарнирными узлами (рис. 1.6, з, е). При небольших (до 1/8) уклонах верхнего пояса ферм ригель принимается прямолинейным и располагается в уровне нижнего пояса ферм. При горизонтальных нагрузках и изгибающих моментах можно пренебречь весьма малыми углами поворота верхних узлов рамы, т.е. принять ригель бесконечно жёстким (рис. 1.6, д, е). Это приближение сокращает число неизвестных.

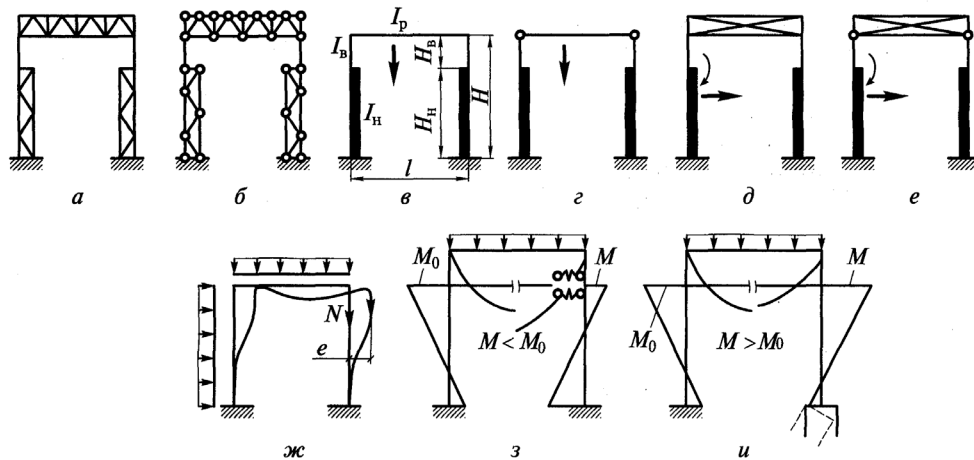


Рис. 1.6. Особенности расчёта поперечных рам каркаса:

а и б — расчётные схемы рам при жёстком и шарнирном сопряжении элементов; в, г, д, е — упрощённые расчётные схемы; ж — деформированная схема рамы; з, и — соответственно учёт податливости соединения ригеля с колонной и фундамента

Приближение не даёт больших погрешностей, если отношение жёсткости ригеля к жёсткости стойки достаточно велико:

$$k \geq 6 / (1 + 1,1\sqrt{\mu}); \quad k = \frac{I_p H}{(I_H l)}; \quad \mu = \frac{I_H}{I_B} - 1, \quad (1.1)$$

где I_p, I_H, I_B — моменты инерции соответственно ригеля, нижней и верхней частей колонны; l — пролёт ригеля; H — высота колонны.

Таким образом, при расчёте поперечных рам стальных каркасов промышленных зданий используются упрощённые расчётные схемы, которые резко сокращают трудоёмкость расчёта и приводят к вполне допустимым погрешностям. Однако это допустимо только при расчётах определённой конструктивной формы, соответствующей системам традиционных каркасов промышленных зданий.

Действительные усилия в элементах каркаса всегда отличаются от тех, которые определены даже по «точной», расчётной схеме. Это связано, во-первых, с методами расчёта, принятыми в строительной механике, а во-вторых, с идеализированными условиями опирания поперечных рам и сопряжения её элементов.

В настоящее время в строительной механике широко распространён расчёт по недеформируемой схеме. Например, если в колонне имеется нормальная сила, то дополнительный момент, который возникает при небольшом смещении верхнего узла рамы, при определении усилий не учитывается. Имеются методы расчёта систем по деформируемой схеме, при которых система канонических уравнений превращается в систему дифференциальных. Примеры использования этих методов для расчёта систем, похожих на расчётные схемы поперечных рам, показали, что при нагрузках, близких к расчётным, использование недеформируемой схемы даёт небольшие погрешности.

Искажают характер распределения усилий в системе и её перемещения, и податливость фланцевых соединений ригеля с колонной, и поворот фундаментов при нагружении рамы. Поворот фундаментов уменьшает изгибающие моменты в нижней части колонны (при шарнирном опирании колонны момент равен нулю) и увеличивают в верхней. Податливость крепления ригеля к колонне увеличивает моменты в нижней и уменьшает в верхней частях колонны.

На рис. 1.7 показаны конструктивная и расчётная схемы однопролётной рамы с жёстким защемлением ригеля в ступенчатых колоннах. Оси стоек в расчётной схеме совпадают с центрами тяжести верхнего и нижнего сечений колонны. В ступенчатых колоннах крайних рядов центры тяжести верхней и нижней частей расположены не на одной оси, поэтому стойка рамы имеет горизонтальный уступ, равный расстоянию между геометрическими осями колонн. Заделка стоек принимается на уровне низа базы, ось ригеля совмещается с нижним поясом стропильной фермы.

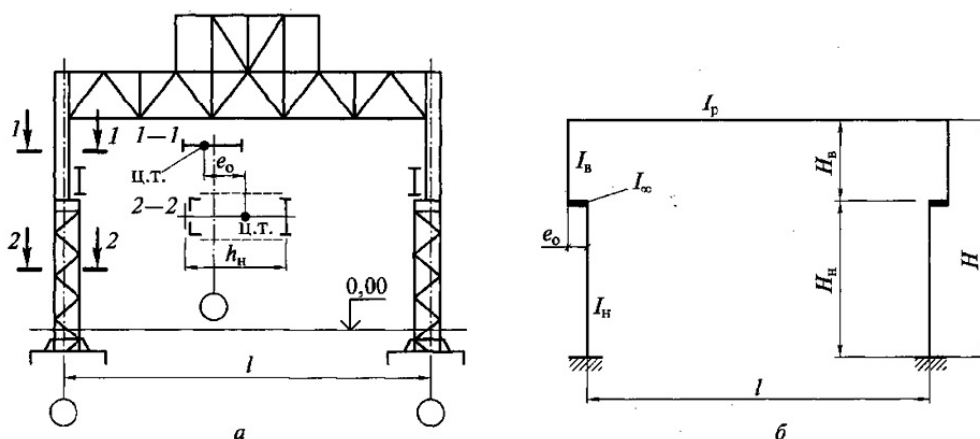


Рис. 1.7. Конструктивная (а) и расчётная (б) схемы однопролётной рамы

Чтобы определить размер уступа колонны e_0 и моменты инерции сечений нижнего I_n и верхнего I_v участков колонны, а также ригеля I_p , необходимо знать их сечения, которые на данной стадии проектирования неизвестны. Поэтому при установлении расчётной схемы рамы используют данные проектирования аналогичных сооружений или проводят очень упрощённый предварительный расчёт рамы с подбором сечений и на основе этого устанавливают требуемые величины. Такой подход возможен потому, что, как показывают проверочные расчёты, отклонение в соотношениях моментов инерции элементов рамы до 30% мало отражается на расчётных усилиях в раме и только при большей разнице её расчёт нужно проверить заново.

По опыту проектирования производственных зданий известно, что расстояние между центрами тяжести сечений верхнего и нижнего участков колонны (с несимметричным сечением нижнего участка)

$$e_0 = (0,45 \dots 0,55) h_n - 0,5 h_v, \quad (1.2)$$

где h_n и h_v — высота сечений соответственно нижнего и верхнего участков колонны.

Для статического расчёта рамы достаточно знать только соотношения моментов инерции элементов рамы, а не их абсолютные значения. Эти соотношения обычно принимают в следующих пределах:

$$\frac{I_H}{I_B} = 5 \dots 10;$$

$$\frac{I_P}{I_H} = 2 \dots 6.$$

Их можно приближённо определить в зависимости от нагрузок и размеров рамы.

В продольном направлении в расчётную схему рамы включается вырезанная двумя параллельными плоскостями ячейка здания (расчётный блок шириной B). При одинаковом шаге колонн по наружным и внутренним рядам (и в однопролётных зданиях) ширина блока B равна этому шагу (рис. 1.8, *а*). Если шаг колонн по внутренним рядам постоянный, но больше шага колонн по наружным рядам, то ширина B будет равна шагу колонн по внутренним рядам (рис. 1.8, *б*). При разных шагах колонн по разным рядам расчётный блок назначается по ряду с наибольшим шагом (рис. 1.8, *в*).

Расчётные блоки приводятся к плоской расчётной схеме суммированием жёсткостей колонн по каждому ряду в пределах расчётного блока и с учётом всех нагрузок, действующих на конструкции в пределах блока.

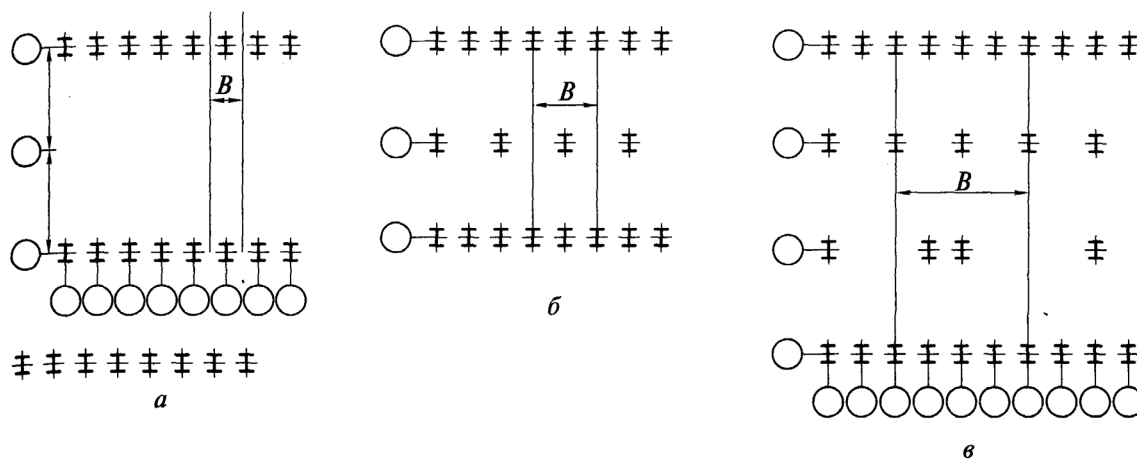


Рис. 1.8. Схемы расчётных блоков:
а — при одинаковых шагах колонн по всем рядам; *б* и *в* — то же, при разных шагах

1.6. Размещение колонн в плане

Проектирование каркаса производственного здания начинают с выбора конструктивной схемы и её компоновки. Исходным материалом является технологическое задание, в котором даются расположение и габаритные размеры агрегатов и оборудования цеха, число кранов, их грузоподъёмность и режим работы. Технологическое задание содержит данные о районе строительства и условиях эксплуатации цеха (освещённость, температурно-влажностный режим и т.п.).

После выбора конструктивной схемы одновременно с компоновкой решаются принципиальные вопросы архитектурно-строительной части проекта (определяются ограждающие конструкции, назначается расположение оконных и воротных проёмов и т.п.).

При компоновке конструктивной схемы каркаса определяется размещение колонн здания в плане, устанавливаются внутренние габаритные размеры здания, назначаются и взаимосвязываются размеры основных конструктивных элементов каркаса.

Размещение колонн в плане принимают с учётом технологических, конструктивных и экономических факторов. Оно должно быть увязано с габаритными размерами технологического оборудования, его расположением и направлением грузопотоков. Размеры фундаментов под колонны увязывают с расположением и габаритными размерами подземных сооружений (фундаментов под рабочие

агрегаты, коллекторов и т.п.). Колонны размещают так, чтобы вместе с ригелями они образовывали поперечные рамы, т.е. в многопролётных цехах колонны разных рядов устанавливаются по одной оси.

Согласно требованиям унификации промышленных зданий расстояния между колоннами поперёк здания (размеры пролётов) назначаются в соответствии с укрупнённым модулем, кратным 6 (иногда — 3); для производственных зданий $l = (18; 24; 30; 36)$ м и более. Расстояния между колоннами в продольном направлении (шаг колонн) также принимают кратными 6. Шаг колонн однопролётных зданий, а также шаг крайних (наружных) колонн многопролётных зданий обычно не зависит от расположения технологического оборудования, его принимают равным 6 или 12 м. Как правило, для зданий больших пролётов и значительной высоты оказывается выгоднее шаг 12 м. У торцов зданий колонны обычно смещаются с модульной сетки на 500 мм для возможности использования типовых ограждающих плит и панелей с номинальной длиной 6 или 12 м (рис. 1.9). Смещение колонн с разбивочных осей имеет и недостатки, поскольку у торца здания продольные элементы стального каркаса получаются меньшей длины, что приводит к увеличению типоразмеров конструкций.

В многопролётных зданиях шаг внутренних колонн часто исходя из технологических требований (например, передача продукции из пролёта в пролёт) принимается увеличенным, но кратным шагу наружных колонн.

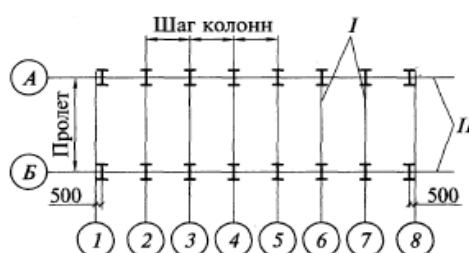


Рис. 1.9. Размещение колонн и однопролётного здания:
I, II — соответственно поперечные и продольные разбивочные оси

В элементах каркаса при больших размерах здания в плане могут возникать большие дополнительные напряжения от изменения температуры. Поэтому в необходимых случаях здание разрезают на отдельные блоки поперечными и продольными температурными швами. Нормами проектирования установлены предельные размеры температурных блоков, при которых влияние климатических температурных воздействий можно не учитывать.

Наиболее распространённый способ устройства поперечных температурных швов состоит в том, что в месте разрезки здания ставят две поперечные рамы (не связанные между собой какими-либо продольными элементами), колонны которых смещают с оси на 500 мм в каждую сторону, подобно тому как это делают у торца здания.

Продольные температурные швы решают либо расчленением многопролётной рамы на две (или более) самостоятельные, что связано с установкой дополнительных колонн, либо с подвижным в поперечном направлении опиранием одного или обоих ригелей на колонну с помощью катков или другого устройства. В первом решении предусматривается дополнительная разбивочная ось на расстоянии 1000 или 1500 мм от основной. Иногда в зданиях, имеющих ширину, превышающую предельные размеры для температурных блоков, продольную разрезку не делают, предпочитая некоторое утяжеление рам, необходимое по расчёту на температурные воздействия.

В некоторых случаях планировка здания, обусловленная технологическим процессом, требует, чтобы продольные ряды колонн двух пролётов цеха располагались во взаимно перпендикулярных направлениях. При этом также возникает необходимость в дополнительной разбивочной оси. Расстояние между осью продольного ряда колонн одного отсека и осью торца примыкающего к нему другого отсека принимается равным 1000 мм, а колонны смещаются с оси внутрь на 500 мм.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru