

10. Одноэтажные промышленные здания

10.1. Компоновка каркаса

10.1.1. Конструктивная схема зданий

10.1.2 Система связей

10.1.3. Вертикальные и горизонтальные связи и связи по фонарям

10.2. Статический расчет рамы

10.2.1. Расчетная схема и нагрузки

10.2.2. Постоянная нагрузка от веса покрытия

10.2.3. Временная нагрузка от снега

10.2.4. Временная нагрузка от мостовых кранов

10.2.5. Нагрузки от подвесных кранов

10.2.6. Временная ветровая нагрузка

10.2.7. Расчёт по методу перемещений

10.3. Расчёт на температурные воздействия

10.1.1. Конструктивная схема зданий

Для металлургической, машиностроительной, лёгкой и других отраслей промышленности возводят одноэтажные здания.

Конструктивной и технологической особенностью таких зданий является оборудование их транспортными средствами: мостовыми и подвесными кранами.

Мостовые краны перемещаются по специальным путям, опёртым на колонны; подвесные краны перемещаются по путям, подвешенным к элементам покрытия.

Покрытие одноэтажного производственного здания может быть балочным из линейных элементов или пространственным в виде оболочек.

К элементам конструкции одноэтажного каркасного здания с балочным покрытием относятся:

- колонны (стойки), заделанные в фундаментах;
- ригели покрытия (балки, фермы, арки), опирающиеся на колонны;
- плиты покрытия, уложенные по ригелям;
- подкрановые балки;
- световые или аэрационные фонари.

10.1.1. Конструктивная схема зданий

К элементам каркаса относятся также

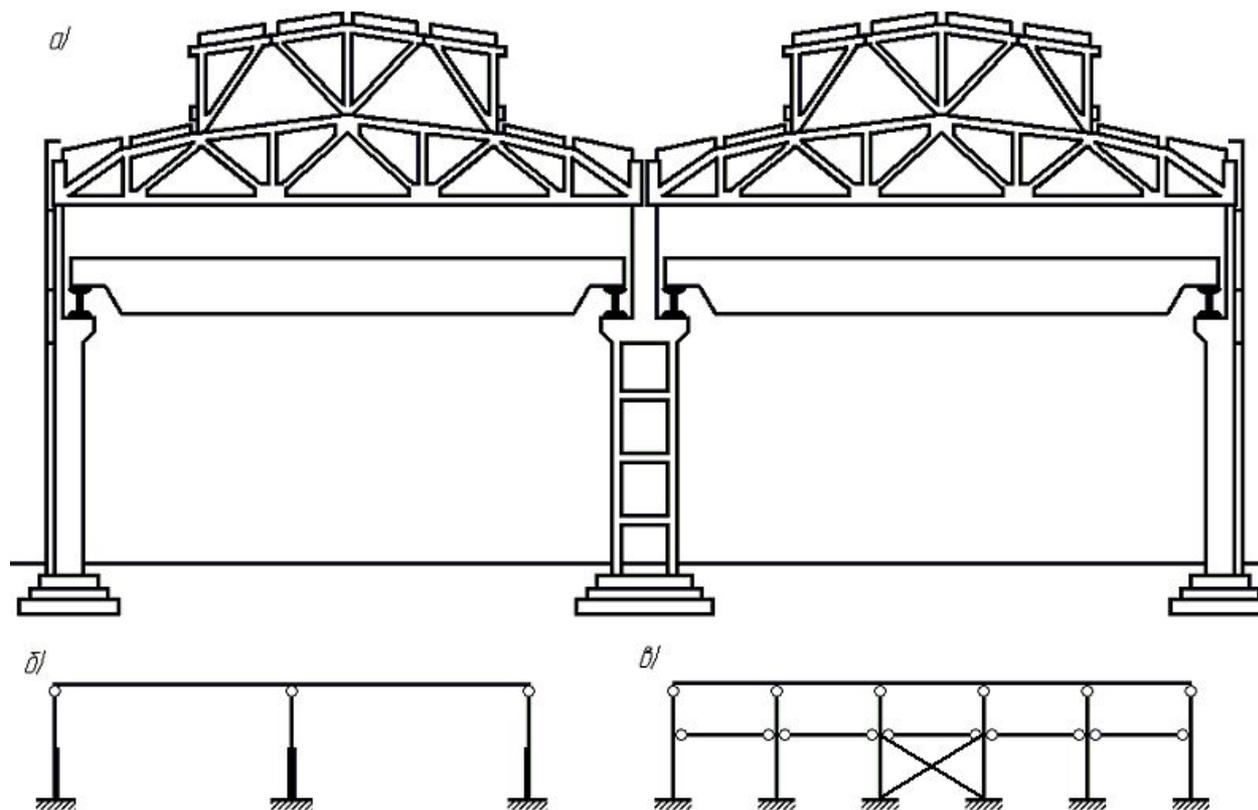
- фахверковые колонны, несущие нагрузку от стеновых панелей и воспринимаемого ветра;
- стеновые панели. Могут быть навесными и самонесущими.

Фахверком называется система конструктивных элементов, служащих для поддержания стенового ограждения и восприятия (с последующей передачей на фундаменты и другие конструкции) ветровой нагрузки.

Фахверк устраивается для наружных стен (вдоль здания и торцовых), а также для внутренних стен и перегородок.

При самонесущих стенах, а также при панельных с длинами панелей, равными шагу колонн, необходимости в конструкциях фахверка нет.

10.1.1. Конструктивная схема зданий



Одноэтажное промышленное здание с мостовыми кранами:

а – конструктивный поперечный разрез;

б – статическая схема поперечной рамы;

в – расчетная схема продольной рамы

10.1.1. Конструктивная схема зданий

Пространственный каркас здания условно расчленяют на поперечные и продольные рамы, каждая из которых воспринимает горизонтальные и вертикальные нагрузки.

Основной несущей конструкцией каркаса одноэтажного промышленного здания является **плоская поперечная рама, образованная защемленными в фундаментах колоннами и ригелями покрытия.**

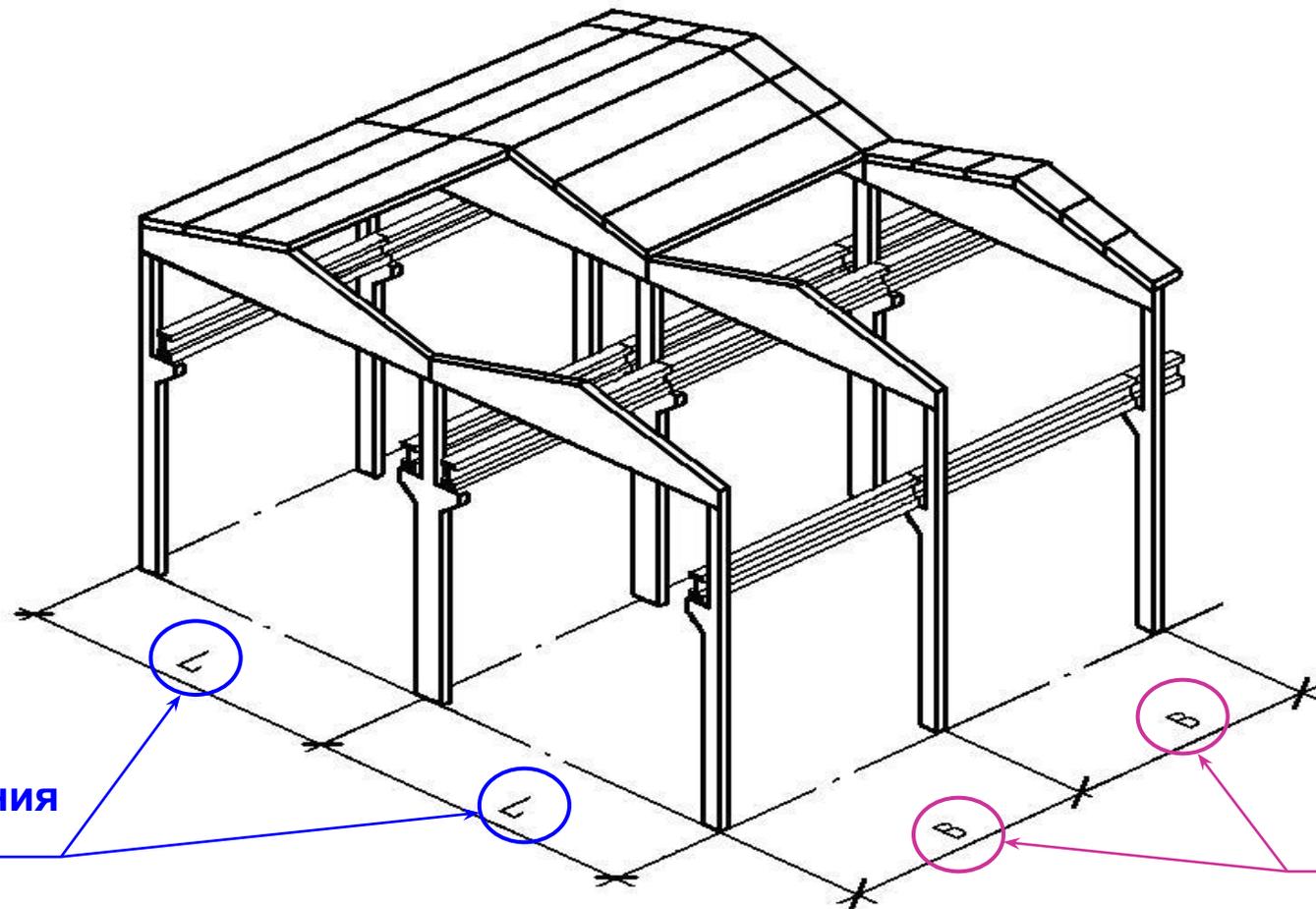
Плиты покрытия привариваются к ригелям не менее чем в трех точках с помощью закладных деталей, швы тщательно замоноличиваются, при этом покрытие образует жесткий в своей плоскости диск.

Соединение ригелей с колоннами принимается **шарнирным**, что позволяет увеличить степень универсальности колонн и ригелей, поскольку при таком соединении приложенная к ригелю нагрузка не вызывает в стойках изгибающих моментов.

Поперечная рама воспринимает нагрузку от массы покрытия, снега, кранов, стен, ветра и обеспечивает жесткость здания в поперечном направлении.

В продольную раму включается один ряд колонн в пределах температурного отсека и продольные конструкции: подкрановые балки, вертикальные связи, распорки по колоннам и конструкции покрытия. Продольная рама обеспечивает жесткость здания в продольном направлении и воспринимает нагрузки от продольного торможения кранов и ветра, действующего в торец здания.

10.1.1. Конструктивная схема зданий

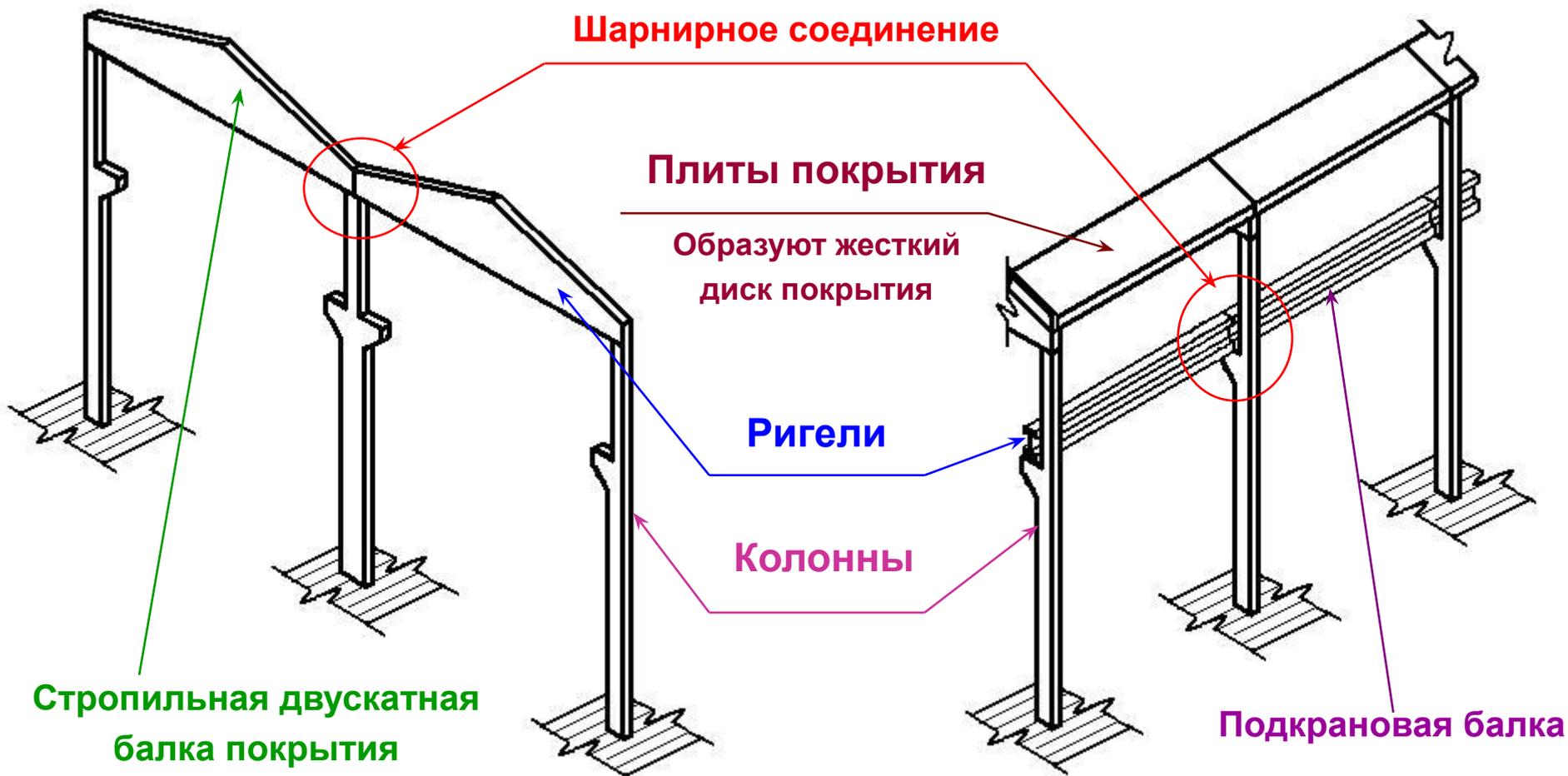


Конструктивная схема ОПЗ при одинаковом шаге колонн внешних и внутренних рядов

10.1.1. Конструктивная схема зданий

Поперечная рама

Продольная рама



10.1.1. Конструктивная схема зданий

При разработке конструктивной части проекта одноэтажного промышленного здания инженеру-проектировщику приходится решать ряд вопросов, основными из которых являются:

- выбор и компоновка конструктивной схемы
- статический расчет поперечной рамы
- расчет стропильных и подстропильных конструкций, плит покрытия, колонн, фундаментов и их конструирование.

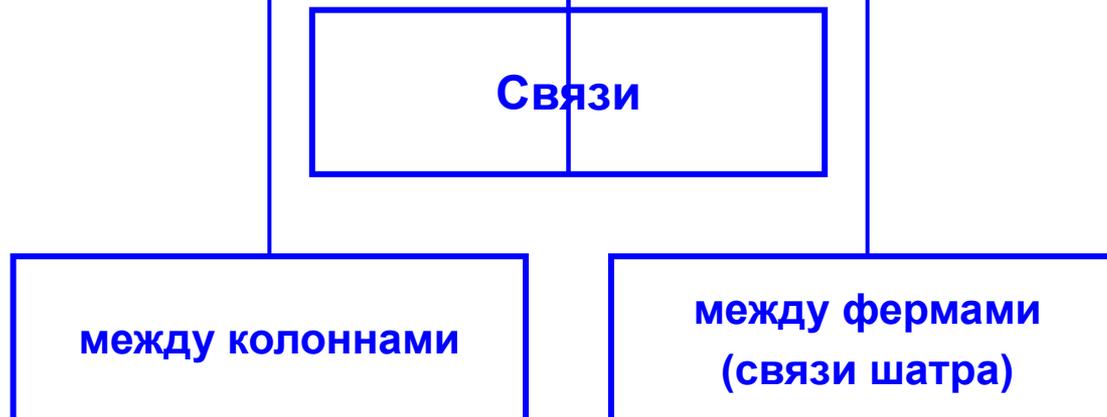
В свою очередь в задачу компоновки конструктивной схемы входят:

- выбор сетки колонн и установление внутренних габаритов здания;
- компоновка покрытия;
- разбивка здания на температурные блоки;
- выбор схемы связей, обеспечивающих пространственную жесткость здания;
- другие проектные задачи и предложения.

10.1.2 Система связей

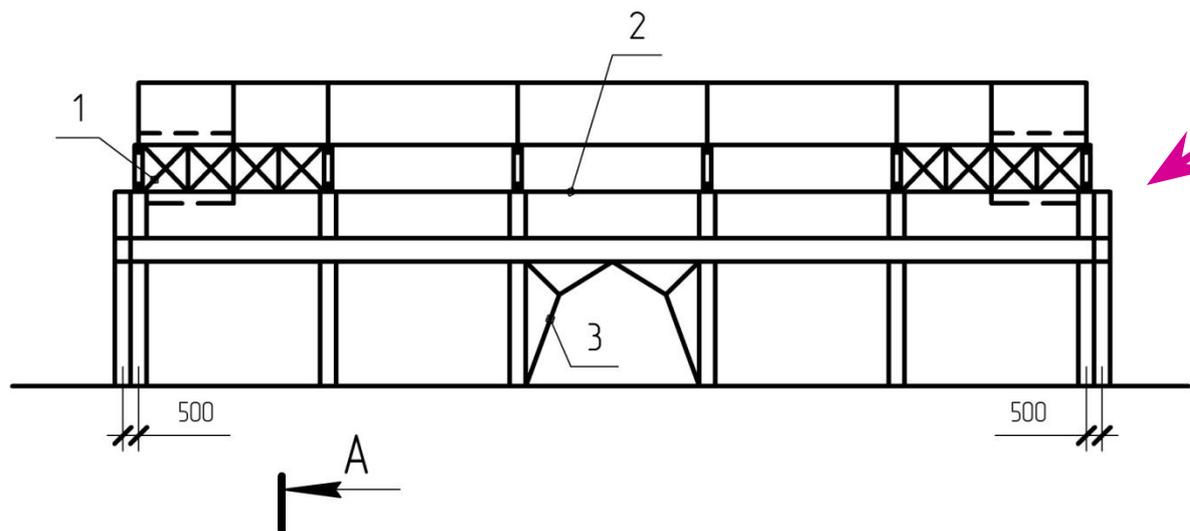
Связи - это важные элементы каркаса, необходимые для

- обеспечения неизменяемости пространственной системы каркаса и устойчивости его сжатых элементов;
- восприятия и передачи на фундаменты некоторых нагрузок (ветровых, горизонтальных от кранов);
- обеспечения совместной работы поперечных рам при местных нагрузках (например, крановых);
- создания жесткости каркаса, необходимой для обеспечения нормальных условий эксплуатации;
- обеспечения условий высококачественного и удобного монтажа.



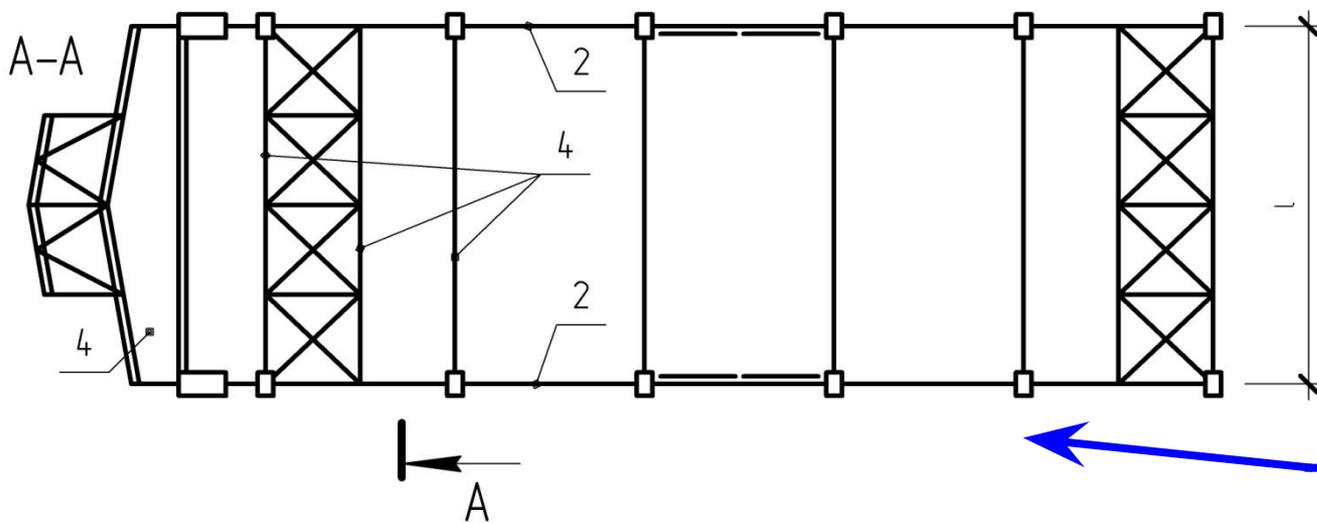
10.1.3. Вертикальные и горизонтальные связи

Схема связей покрытия



Вертикальные связи

- 1 – вертикальные связевые фермы;
- 2 – распорка по верху колонн;
- 3 – вертикальные связи по колоннам;
- 4 – ригель поперечной рамы.

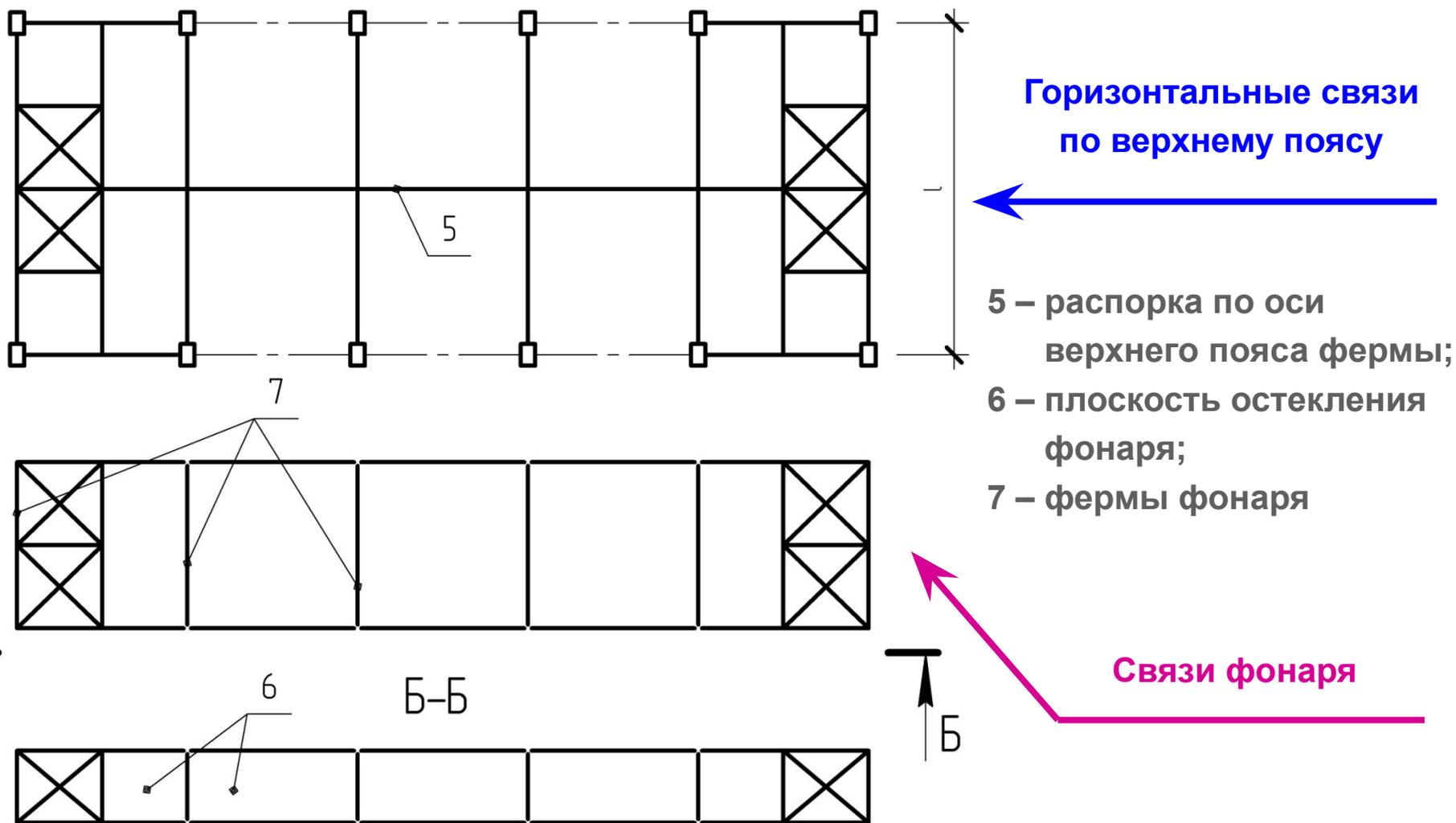


Горизонтальные связи

по нижнему поясу

10.1.3. Вертикальные и горизонтальные связи

Схема связей покрытия



10.1.3. Вертикальные и горизонтальные связи

В промышленных зданиях

- высотой до низа стропильной конструкции менее 18 м;
- пролетами до 30 м;
- с кранами легкого и среднего режима работы;

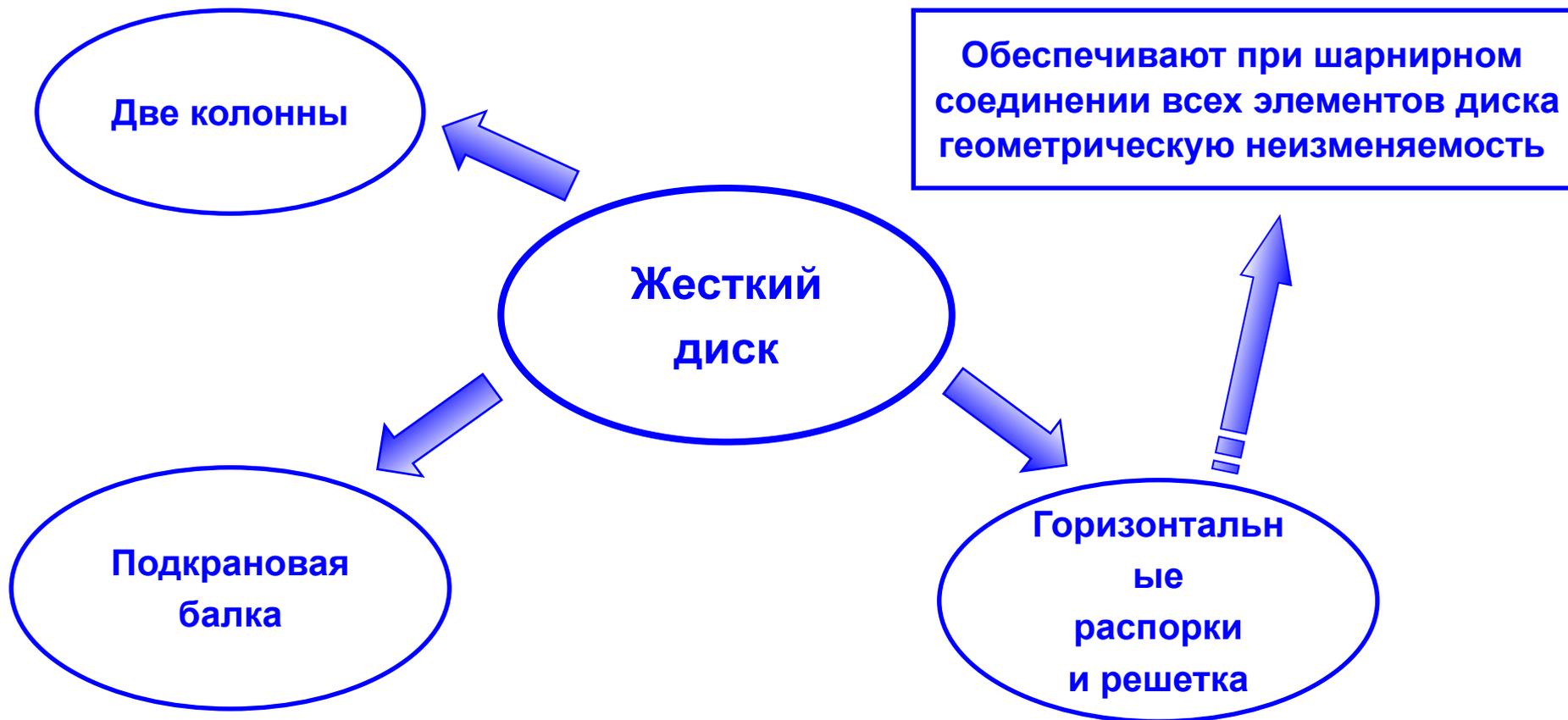
каких-либо специальных горизонтальных связей не требуется.

Поскольку жесткость диска покрытия в этом случае обеспечивается применением крупноразмерных железобетонных плит покрытия (приваркой их к верхним поясам стропильных конструкций и последующим замоноличиванием швов между плитами).

Система связей между колоннами обеспечивает во время эксплуатации и монтажа геометрическую неизменяемость каркаса и его несущую способность в продольном направлении (воспринимая при этом некоторые нагрузки), а также устойчивость колонн из плоскости поперечных рам.

10.1.3. Вертикальные и горизонтальные связи

Для выполнения этих функций необходим хотя бы один вертикальный жесткий диск по длине температурного блока и система продольных элементов, прикрепляющих колонны, не входящие в жесткий диск, к последнему.



10.1.3. Вертикальные и горизонтальные связи

Вертикальные связи между колоннами ставят по всем рядам колонн здания; располагать их следует между одними и теми же осями.

При проектировании связей по средним рядам колонн в подкрановой части следует иметь в виду, что довольно часто по условиям технологии необходимо иметь свободное пространство между колоннами. В этих случаях конструируют порталные связи.

Связи, устанавливаемые в пределах высоты ригелей в связевом блоке и торцовых шагах, проектируют в виде самостоятельных ферм (монтажного элемента), в остальных местах ставят распорки.

Особое внимание следует уделять компоновке связей между колоннами в горячих цехах при применении неразрезных подкрановых балок или большом внутреннем шаге колонн, несущих мощные продольные конструкции (например, подкраново-подстропильные фермы). В этих случаях полностью отсутствует узловая податливость продольных конструкций, система связей становится близкой к рамной и ее температурные деформации стеснены.

10.2.1. Расчетная схема и нагрузки

Поперечная рама одноэтажного каркасного здания испытывает действие:

- постоянных нагрузок от веса покрытия;
- различных временных нагрузок от снега;
- вертикального и горизонтального давления мостовых кранов;
- положительного и отрицательного давления ветра;
- другие нагрузки;

В расчётной схеме рамы соединение ригеля с колонной считают шарнирным, а соединение колонны с фундаментами – жёстким.

Длину колонн принимают равной расстоянию от верха фундамента до низа ригеля.

Цель расчёта поперечной рамы:

определить усилия в колоннах от расчётных нагрузок и подобрать их сечения, а также определить боковой прогиб верха рамы от нормальной ветровой нагрузки.

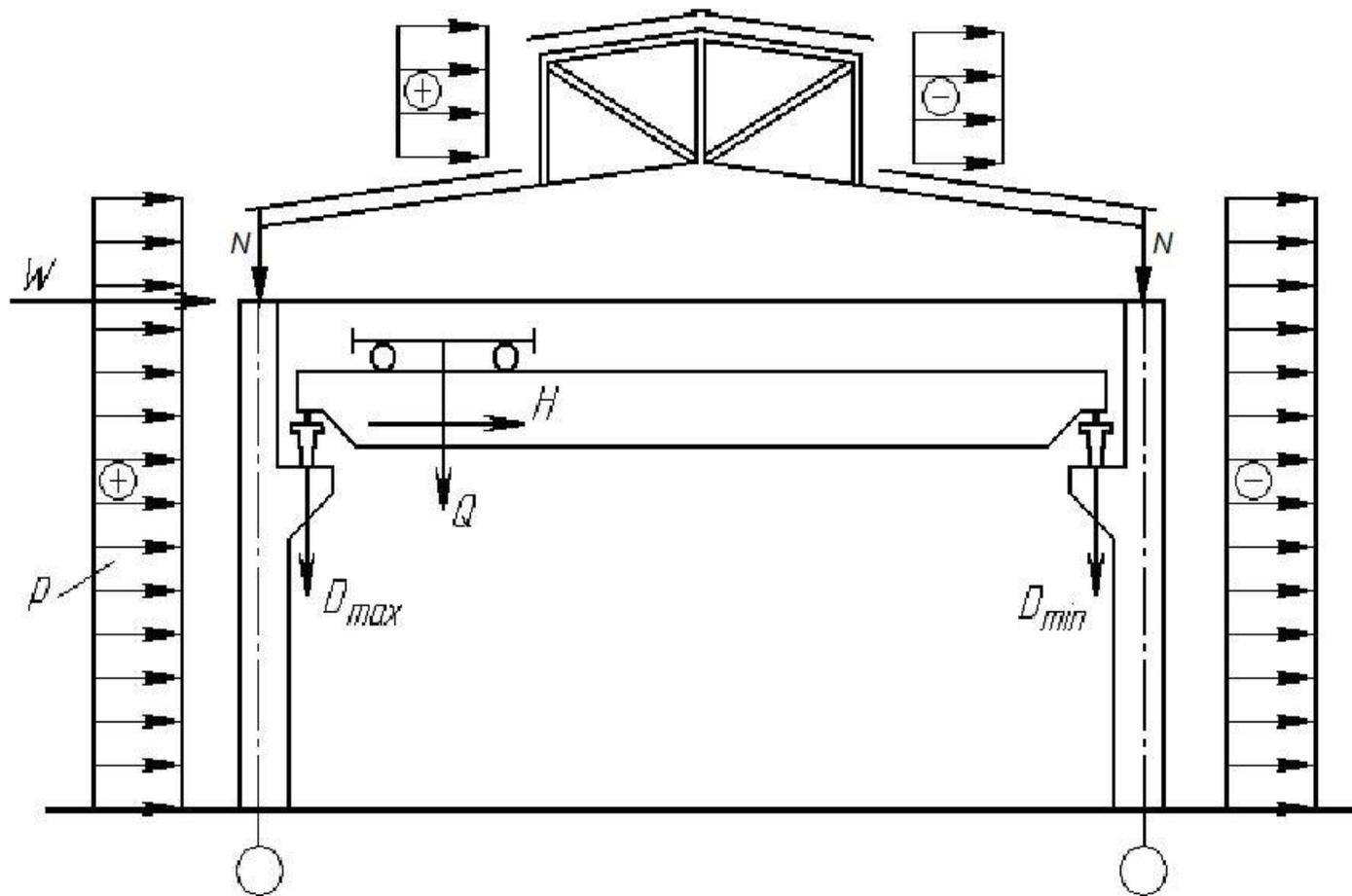
Предъявленный прогиб, установленный нормами, составляет:

$$f_u = \frac{H}{200} \quad \text{при } H = 15 \text{ м}$$

$$f_u = \frac{H}{300} \quad \text{при } H = 30 \text{ м}$$

H – длина колонны от верха фундамента до низа стропильной конструкции.

10.2.1. Расчетная схема и нагрузки



Расчетно-конструктивная схема поперечной рамы.
Нагрузка, действующая на поперечную раму.

10.2.2. Постоянная нагрузка от веса покрытия

Постоянная нагрузка от веса покрытия передаётся на колонну как вертикальное опорное давление ригеля.

Эту нагрузку подсчитывают по соответствующей грузовой площади.

Вертикальная нагрузка от:

- веса покрытия, включая собственный вес конструкции фонаря;
- от веса путей подвесных кранов;
- от постоянно присутствующего оборудования;
- трубопроводов;
- других устройств, подвешенных к покрытию;

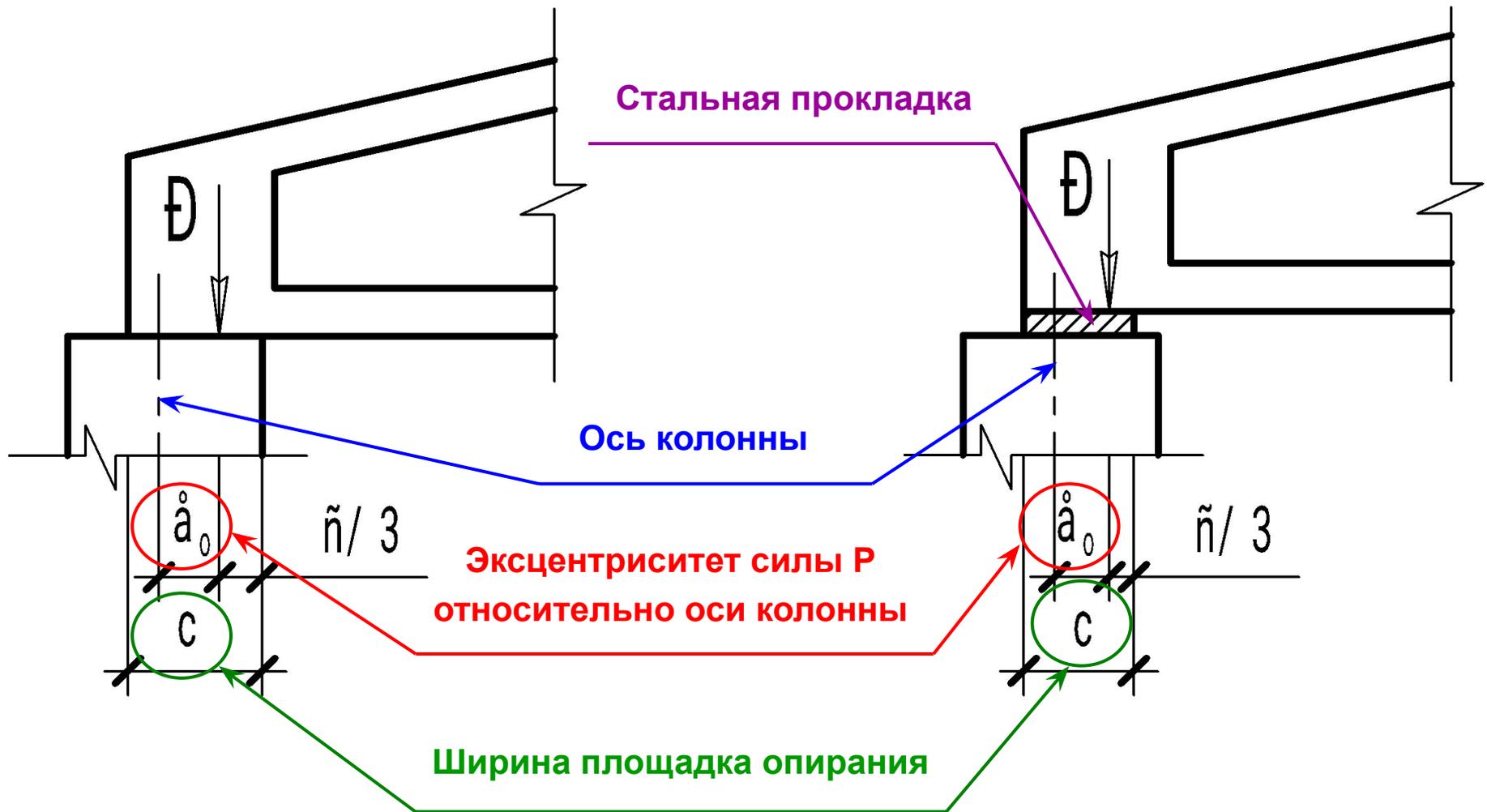
передается на колонну в виде сосредоточенной силы P – реакции стропильной конструкции.

Точка приложения этой силы принимается на расстоянии $1/3$ ширины площадки опирания C , считая от внутренней ее грани.

Есть другое мнение, что сила P прикладывается по оси анкера, выступающего из колонны, к которому крепится стропильная конструкция (балка или ферма).

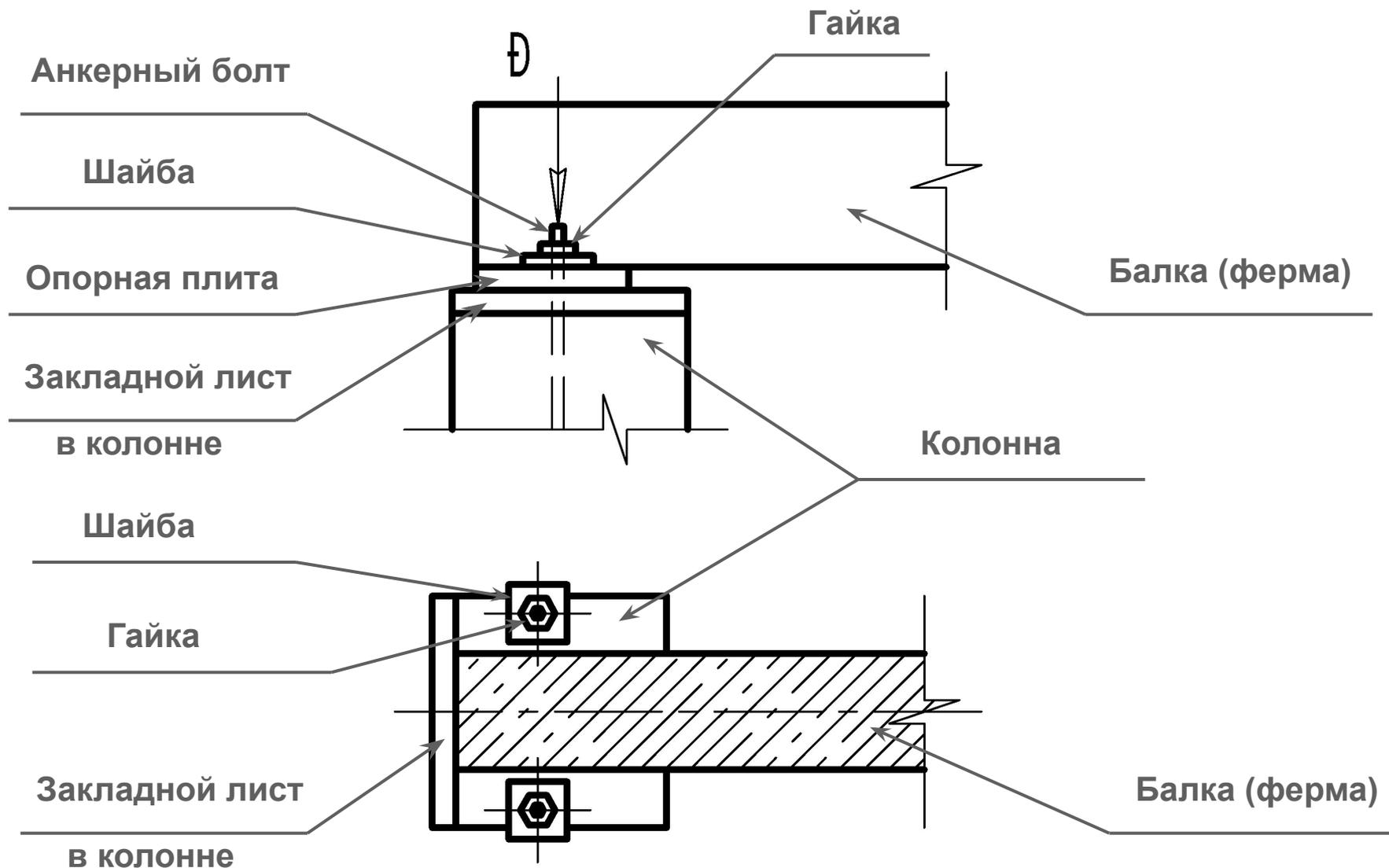
10.2.2. Постоянная нагрузка от веса покрытия

Точки приложения реакции балки(фермы) покрытия к оголовку колонны

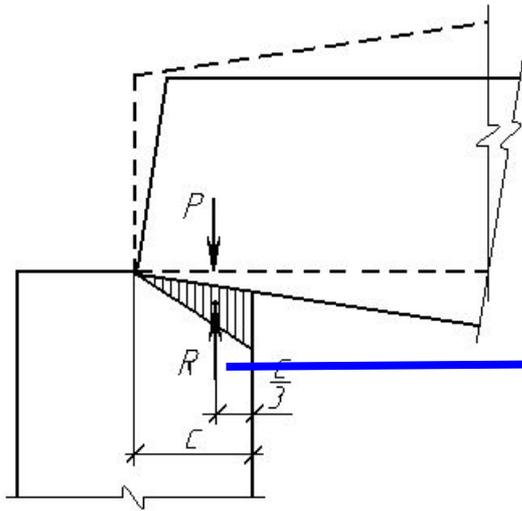


10.2.2. Постоянная нагрузка от веса покрытия

Крепление балки (фермы) к оголовку колонны

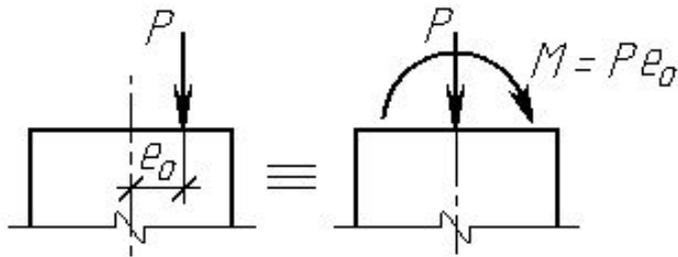


10.2.2. Постоянная нагрузка от веса покрытия



В результате прогиба стропильной балки (фермы) опорные давления на площадке «С» распределяются по закону треугольника и их равнодействующая, уравнивающая силу P , приложена на расстоянии $C/3$ от внутренней грани площадки опирания.

Распределение опорных давлений по ширине площадки опирания по закону треугольника



Воздействие покрытия на оголовки колонны

Таким образом, сила P передается на колонну в общем случае с эксцентриситетом e_0 , и, следовательно, вертикальная нагрузка от покрытия должна учитываться в расчетной схеме в виде силы P , приложенной по оси оголовка колонны, и момента $M = P \times e_0$.

10.2.2. Постоянная нагрузка от веса покрытия

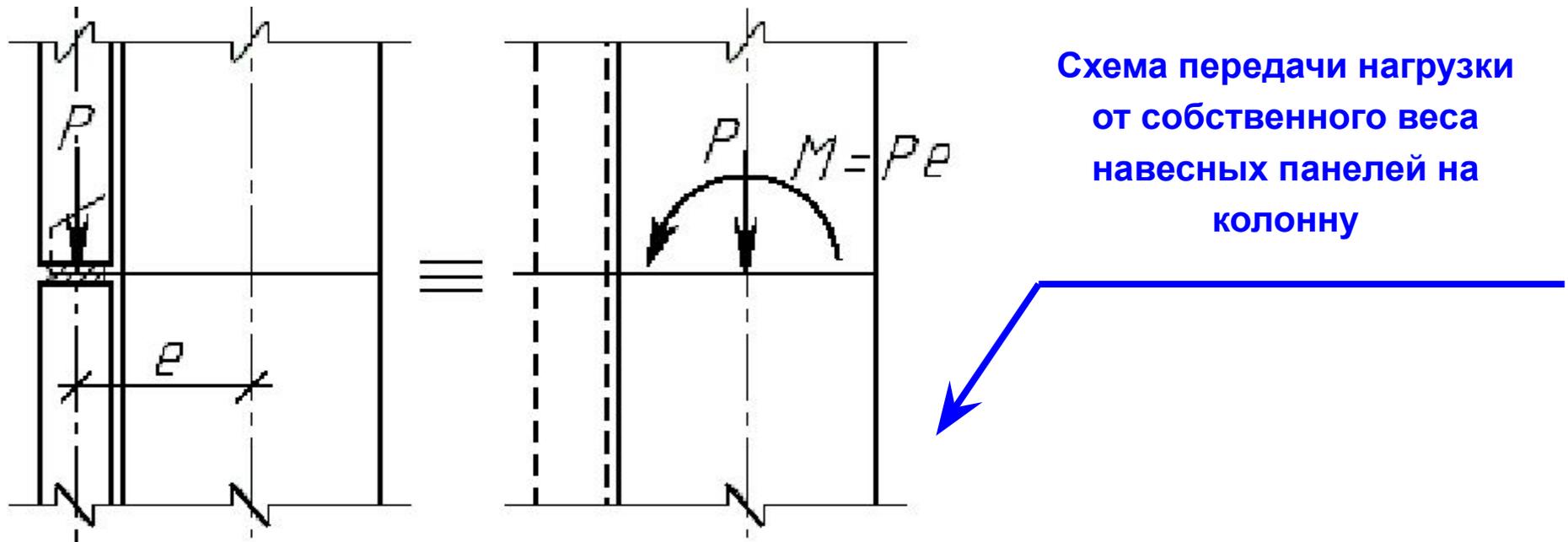


Схема передачи нагрузки от собственного веса навесных панелей на колонну

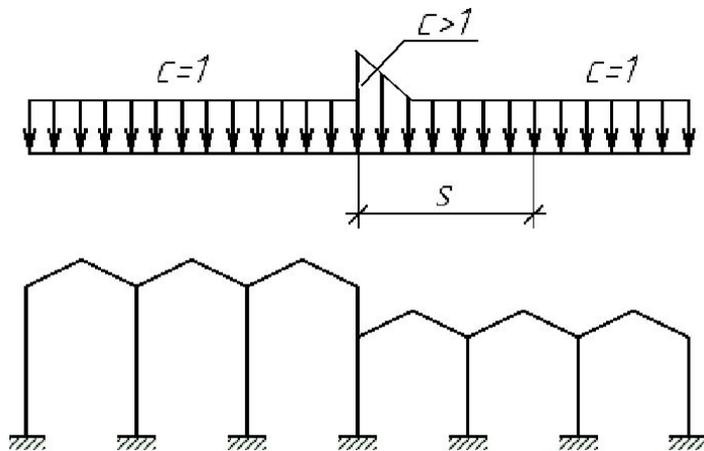
Нагрузка от веса навесных стен считается приложенной в местах расположения опорных столиков. Линия действия этой нагрузки проходит посередине толщины стены и должна учитываться в расчетной схеме в виде осевой силы P и момента.

Нагрузка от собственного веса колонн считается приложенной по оси колонн, соответственно для подкрановой и надкрановой её частей.

Нагрузка от собственного веса подкрановых балок и кранового пути прикладывается в точке, которая расположена в центре опорной площадки подкрановой балки.

10.2.3. Временная нагрузка от снега

Временную нагрузку от снега устанавливают в соответствии с **географическим районом строительства и профилем покрытия**. Она передается на колонну так же, как вертикальное опорное давление ригеля, и подсчитывается по той же грузовой площади, что и нагрузка от веса покрытия.



В местах образования снеговых мешков коэффициент принимается $c > 1$.

При расчете рам и колонн пром. зданий допускается учет только равномерно распределенной снеговой нагрузки ($c = 1$), за исключением мест перепадов покрытий.

Нормативная снеговая нагрузка определяется формулой:

$$p_n = p_o \cdot c$$

p_o – вес снегового покрова на 1 м^2 поверхности земли, принимаемой в зависимости от района строительства;

c – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие.

Принимается в зависимости от схем распределения снеговой нагрузки на покрытие.

10.2.4. Временная нагрузка от мостовых кранов

Определяют от двух мостовых кранов, работающих в сближённом положении. Коэффициент надёжности для определения расчётных значений вертикальной и горизонтальной нагрузок от мостовых кранов $\gamma_f=1,1$.

Мостовой кран перемещается вдоль пролета цеха по рельсам, уложенным на подкрановые балки. По мосту поперек цеха перемещается тележка с грузом.

Схема расположения мостового крана в пролете промздания.

Общий вид

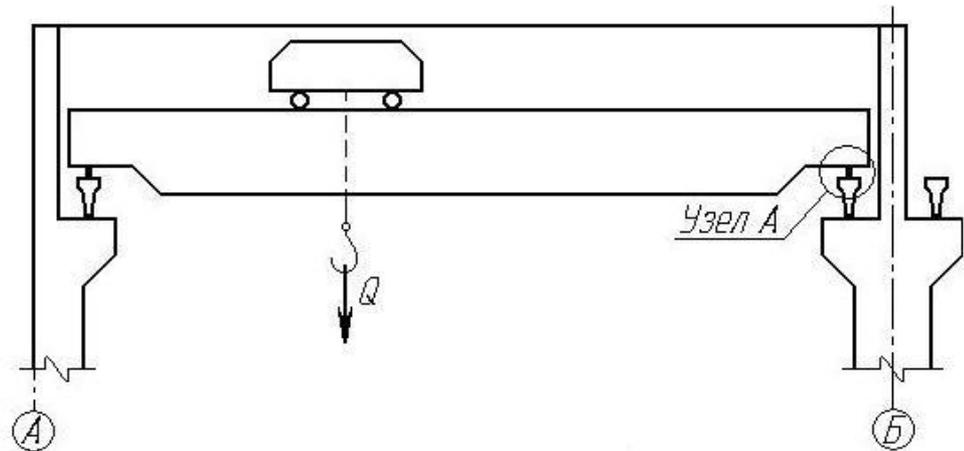
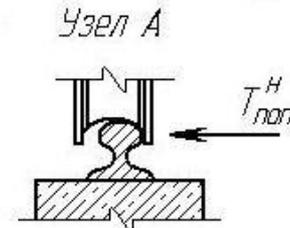
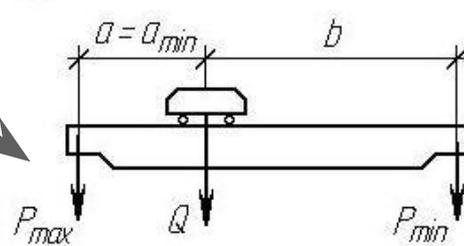


Схема распределения

крановых нагрузок



10.2.4. Временная нагрузка от мостовых кранов

Наибольшее вертикальное давление крана на рельс получается при крайнем положении тележки с грузом, т. е. при $a = a_{\min}$.

При этом нормативное значение максимального давления крана на одно колесо P_{\max}^H определяется по стандартам на мостовые краны.

Соответствующее давление на одно колесо противоположной стороны P_{\min}^H вычисляется по формуле:

$$P_{\min}^H = \frac{Q + Q_M + G}{n_0} - P_{\max}^H$$

где Q - грузоподъемность крана;

Q_M - вес моста;

G - вес тележки;

n_0 - число колес на одной стороне крана.

При движении моста крана вдоль цеха в момент его торможения на рельс передается продольная сила:

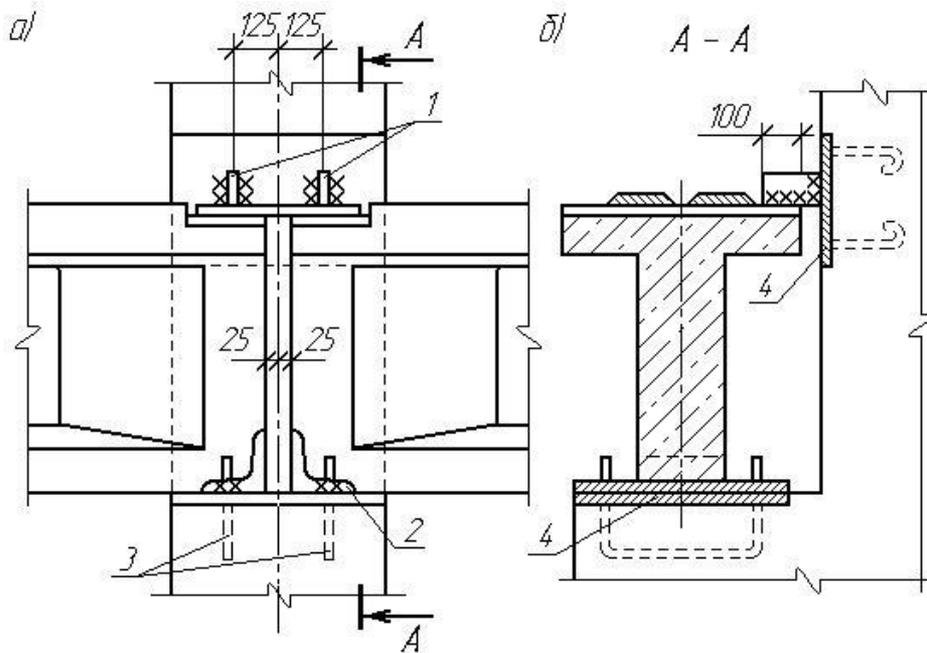
$$T_{\text{прод}}^H = 0,1 \cdot P_{\max}^H \cdot n$$

где n – число тормозных (ведущих) колес рассматриваемой стороны крана.

10.2.4. Временная нагрузка от мостовых кранов

При движении тележки по мосту крана в момент ее торможения возникает тормозная сила, направленная поперек цеха:

$$T_{\text{поп}}^H = K_{\text{п}} \cdot (Q + G)$$



Для кранов с гибким подвесом грузов $K_{\text{п}}=0,05$; для кранов с жестким подвесом груза $K_{\text{п}}=0,1$.

Сила $T_{\text{поп}}^H$ может быть направлена как наружу, так и внутрь пролета.

Считается, что она передается на один (любой) рельс, приложена в уровне верха подкрановой балки и распределяется поровну между колесами одного ряда. На колонну эта сила передается через ребровые планки.

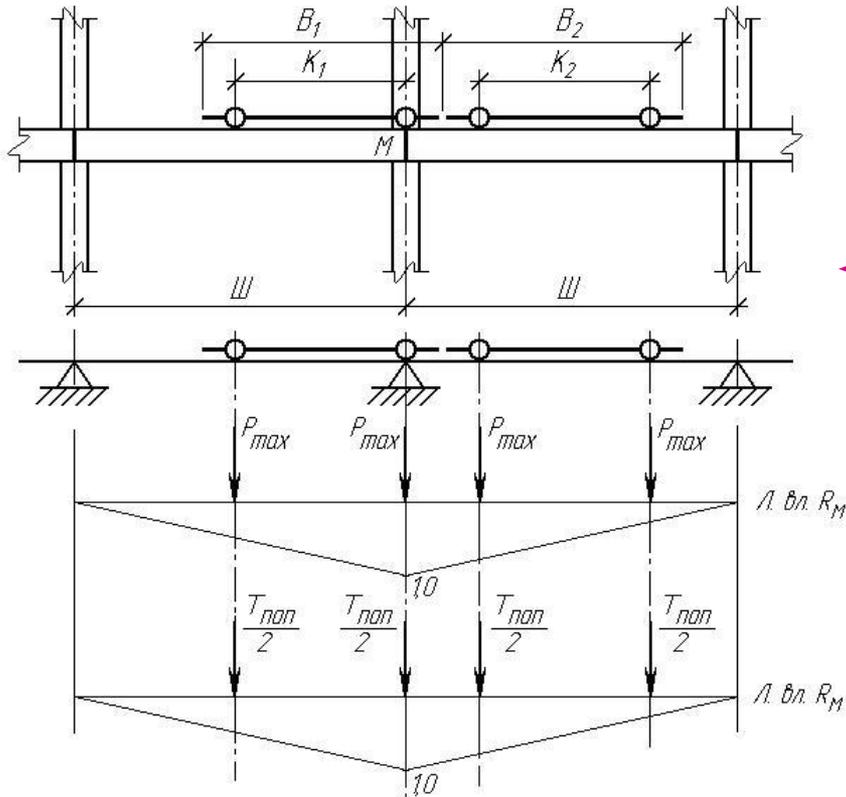
1 – ребровые планки; 2 – закладная деталь подкрановой балки; 3 – анкеры, выпущенные из колонны; 4 – закладные детали колонны

Конструкция крепления подкрановых балок к колоннам здания

10.2.4. Временная нагрузка от мостовых кранов

Крановую нагрузку на колонну вычисляют по линиям влияния реакций опор подкрановых балок, которые имеют одинаковый вид, как для вертикальных, так и для горизонтальных сил поперечного торможения.

Краны располагают невыгоднейшим образом.



Линия влияния для определения давления на колонну от крановых вертикальных и горизонтальных поперечных нагрузок



Условные обозначения:

- B_1 и B_2 – габаритные размеры кранов;
- K_1 и K_2 – расстояния между колесами крана;
- Ш – шаг колонн, равен номинальному пролету подкрановых балок.

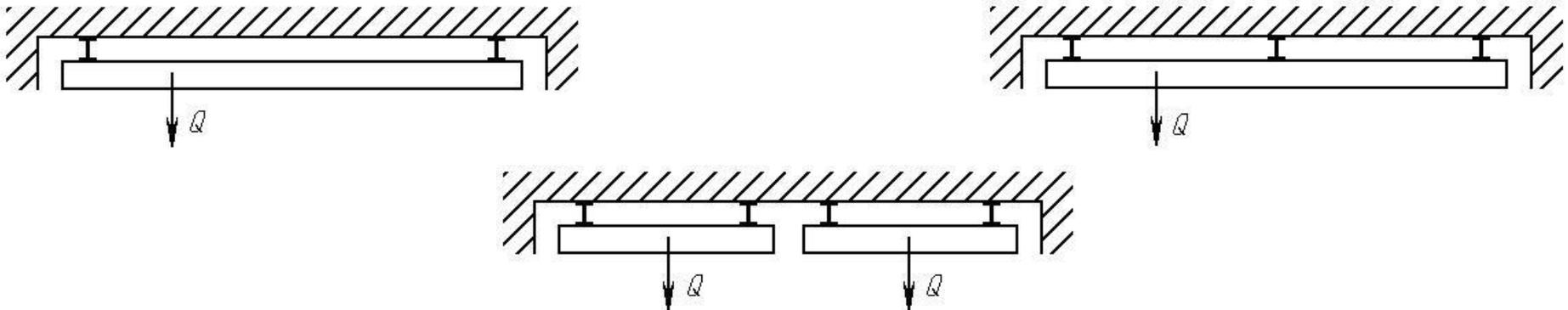
10.2.5. Нагрузки от подвесных кранов

Подвесные краны перемещаются вдоль цеха по монорельсам, прикрепленным («подвешенным») к несущим конструкциям покрытия здания: стропильным балкам и фермам, оболочкам, складкам, аркам.

Возможны несколько схем расположения подвесных кранов. Нагрузки передаются через монорельсы на стропильную конструкцию и далее на колонны здания в виде вертикальных сил, приложенных в тех же точках, что и вертикальная нагрузка от веса покрытия.

Горизонтальная нагрузка от торможения подвесных кранов при расчете колонн не учитывается ввиду ее малой величины. Величина нагрузок и параметры подвесных кранов регламентируются соответствующими ГОСТами.

Схемы расположения подвесных кранов



10.2.6. Временная ветровая нагрузка

Принимают в зависимости от географического района и высоты здания, устанавливая её значение на 1 м² поверхности стен и фонаря.

С наветренной стороны действует положительное давление, с подветренной – отрицательное.

Стеновые панели передают ветровое давление на колонны в виде распределённой нагрузки:

$$p = w \times a, \text{ где } a \text{ – шаг колонн}$$

Неравномерную по высоте здания ветровую нагрузку приводят к равномерно распределённой, эквивалентной по моменту в заделке консоли.

Ветровое давление, действующее на фонарь и часть стены, расположенную выше колонн, передаётся в расчётной схеме в виде сосредоточенной силы W .

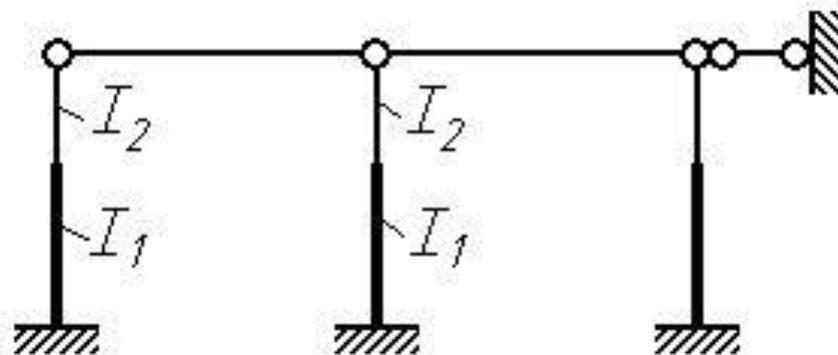
10.2.7. Расчёт по методу перемещений

Для статического расчёта поперечной рамы на различные нагрузки и воздействия наиболее удобен метод перемещений с одним неизвестным Δ – горизонтальное единичное перемещение ригеля рамы.

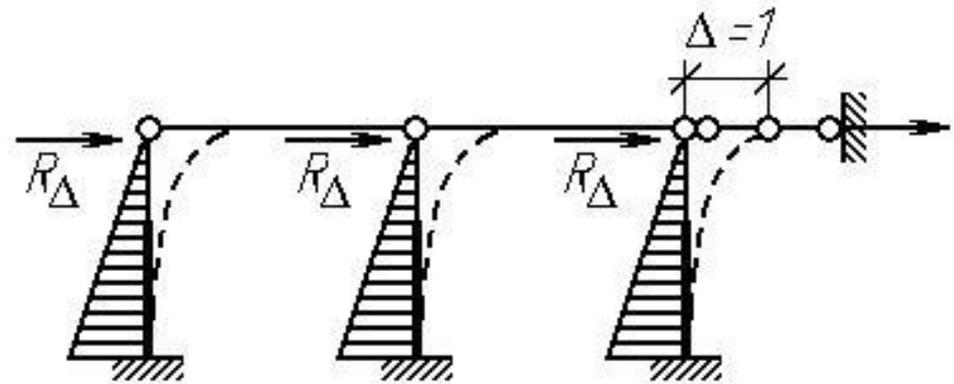
Вводя по направлению неизвестного перемещения стерженёк-связь, получим основную систему.

Основную систему подвергают единичному воздействию неизвестного, при этом в колоннах возникают реакции R_{Δ} и изгибающие моменты.

Основная система поперечной рамы



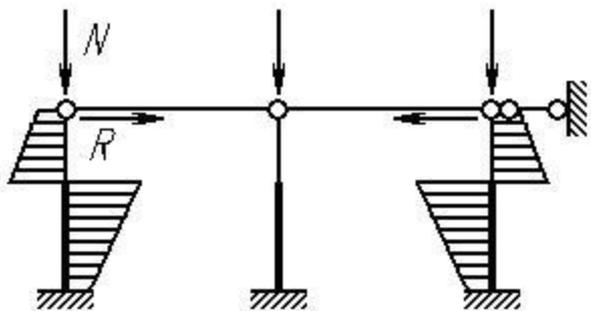
Эпюра моментов, от единичного воздействия неизвестного



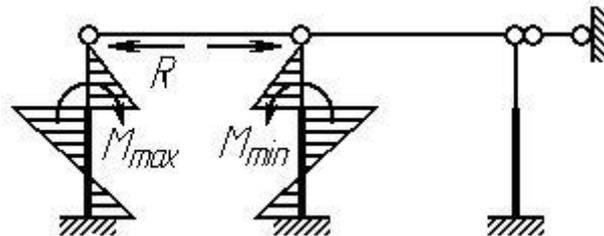
10.2.7. Расчёт по методу перемещений

Затем основную систему последовательно загружают постоянными и временными нагрузками N , M , H , p , которые вызывают в стойках соответствующие реакции и изгибающие моменты.

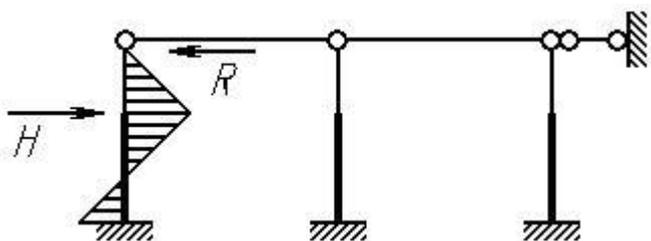
Эпюры моментов



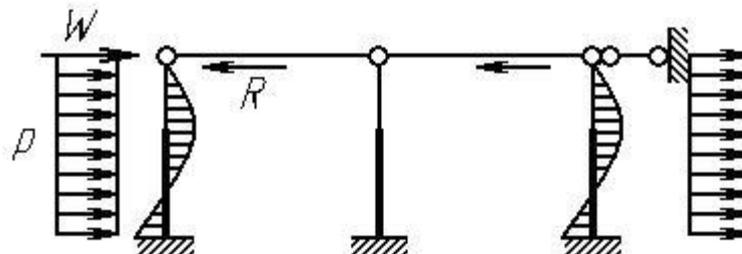
от вертикальной нагрузки



от кранового момента
на крайней колонне



от торможения тележки крана



от ветровой нагрузки

10.2.7. Расчёт по методу перемещений

Составляют каноническое уравнение:

$$\sum R_{i,p} + r_{11} \cdot \Delta_1 \cdot c_{dim} = 0$$

где $\Sigma R_{i,p}$ – реакция в i -ой стойке от внешней нагрузки;

Δ_1 – величина фактического смещения верха колонны при действии нагрузки;

c_{dim} – коэффициент, учитывающий пространственную работу каркаса (взаимосвязь отдельных поперечных рам).

Из уравнения находят неизвестное Δ , а затем упругую реакцию:

$$R_e = R + \Delta R_\Delta$$

Влиянием смещения верха колонн от крановой нагрузки и от подвешного транспорта можно пренебречь, за исключением:

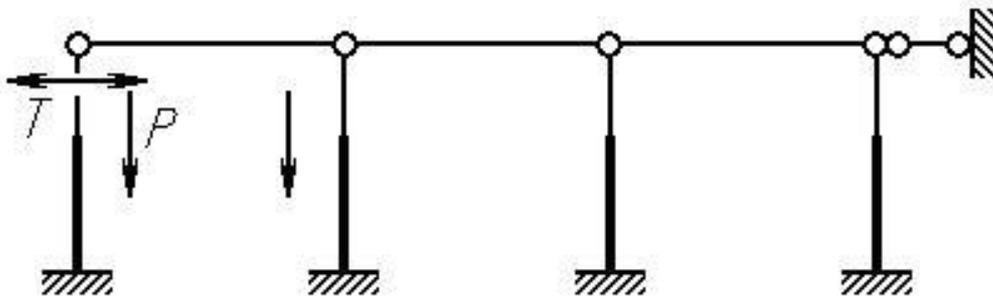
- однопролетных зданий с мостовыми кранами грузоподъемностью более 30 т;
- двухпролетных зданий с кранами грузоподъемностью более 50 т;
- зданий с перепадом высоты.

10.2.7. Расчёт по методу перемещений

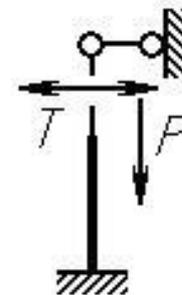
Следовательно, расчетная схема в случае крановых нагрузок при не учете смещения будет такая, как показано на рисунке, т. е. речь идет о расчете отдельно стоящих колонн с неподвижным верхом.

Расчет таких стоек (т. е. определение в них усилий M , N и Q) также производится по готовым формулам.

Расчетная схема рамы при не учете смещения верха колонн



Общая схема



Эквивалентная схема
отдельной колонны

10.2.7. Расчёт по методу перемещений

При учете смещения верха колонн в расчетах на горизонтальные крановые нагрузки T необходимо учитывать, кроме поступательного смещения рам, еще и смещение, обусловленное поворотом диска покрытия из-за несовпадения местоположения равнодействующей горизонтальной смещающей силы T с центром вращения.

Смещение верха каркаса от действия веса покрытия и снега допускается не учитывать, если длины пролетов отличаются друг от друга не более чем на 6 м.

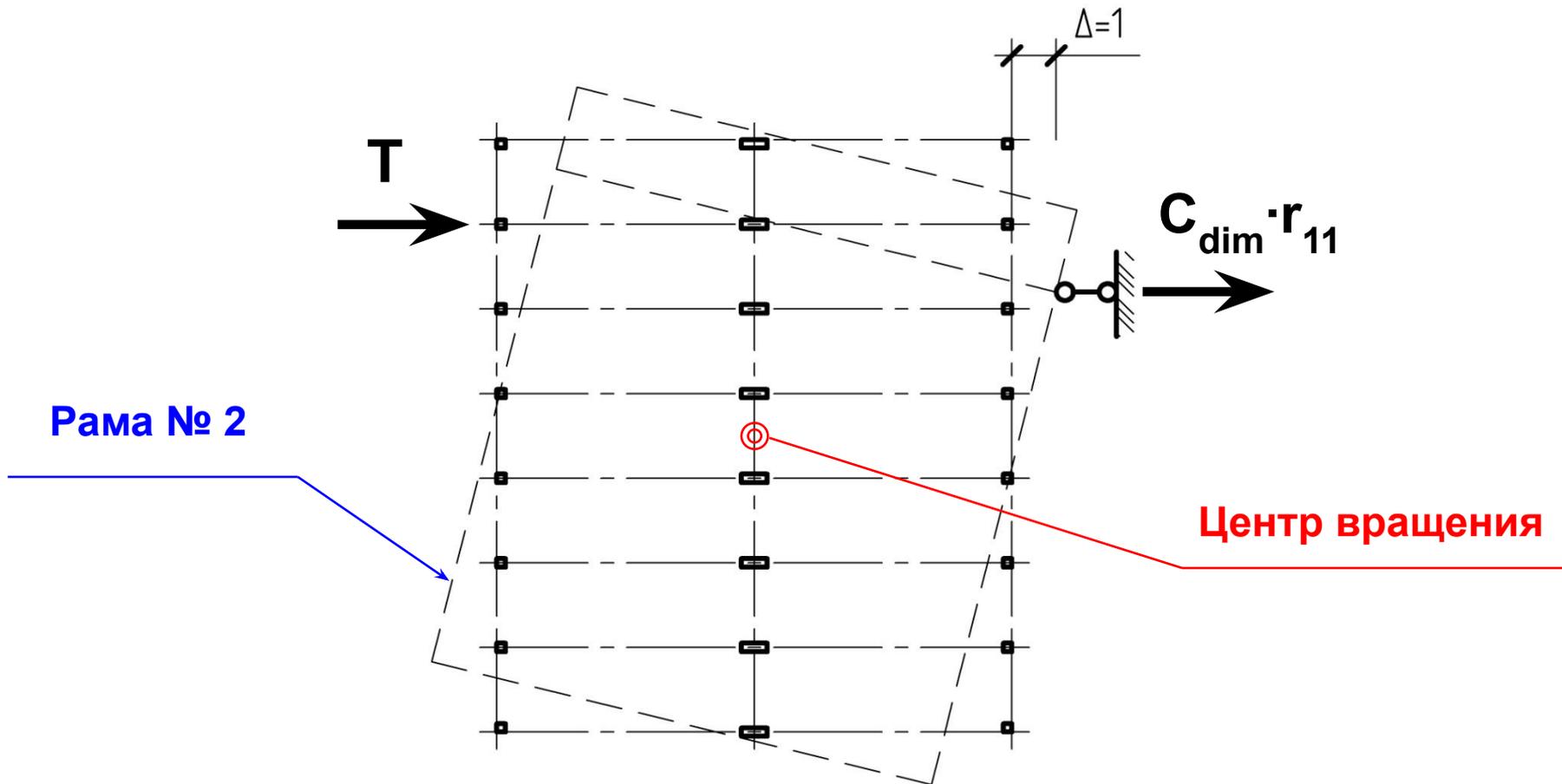
При числе пролётов рамы, равном трём и более, верхнюю опору колонн при действии всех нагрузок, кроме ветровой, рассматривают как неподвижную и принимают $\Delta = 0$.

В этом случае рама разбивается на систему отдельных стоек, расчёт каждой из которых ведётся самостоятельно. Стойка при этом рассматривается как консольная балка.

Если пролёты поперечной рамы имеют разную высоту, то статический расчёт выполняется методом сил (разрезают ригели, их действие на колонну заменяют сосредоточенными силами).

10.2.7. Расчёт по методу перемещений

Вращение диска покрытия одноэтажного промышленного здания при действии горизонтальной силы поперечного торможения крана



10.3. Расчёт на температурные воздействия

В ряде случаев не удаётся разбить здание на температурные блоки необходимой длины (не позволяет технология), т. е. размеры каркаса превосходят предельно допустимые, и необходимо произвести расчёт каркаса на действие температуры.

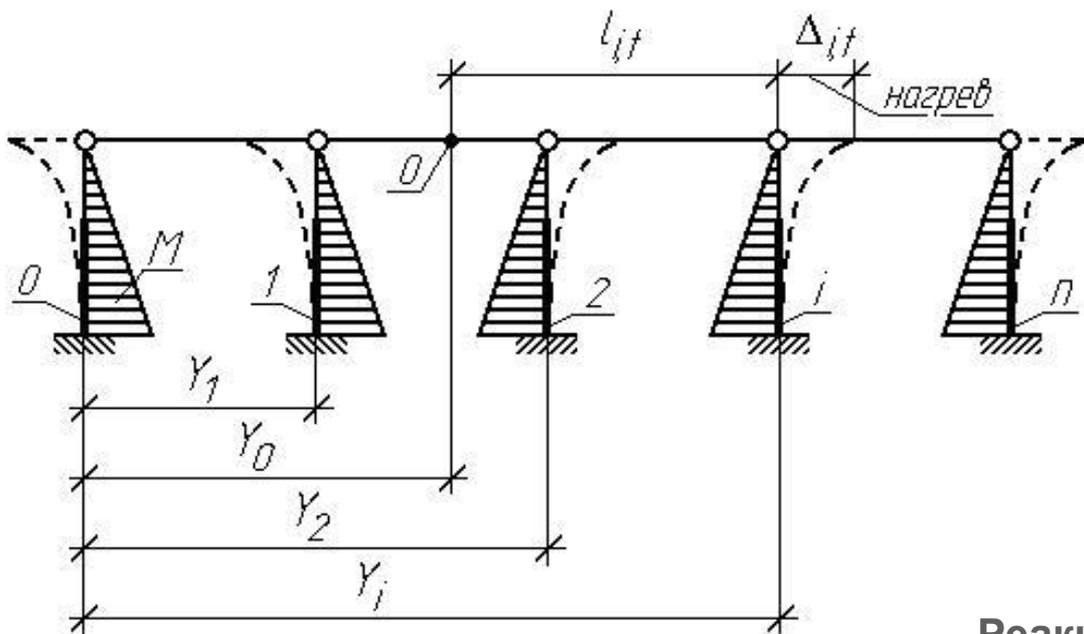


Схема для расчёта каркаса на температурные воздействия

Полученные значения M используются при составлении сочетаний.

Определяется положение нулевой точки (сечение ригеля не перемещается):

$$Y_0 = \frac{\sum Y_i \cdot R_{i,\Delta=1}}{R_{i,\Delta=1}}$$

Определяем $\Delta_{i,t}$: $\Delta_{i,t} = \alpha \cdot \Delta T \cdot l_{i,t}$

где l отсчитывается от нуля;
 $\Delta T = T_1 - T_2$.

Реакция в i -ой стойке от температурного воздействия:

$$R_{i,t} = R_{i,\Delta=1} \cdot \Delta_{i,t}$$