



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

О.В. Емельянов
Э.Л. Шаповалов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДКРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2013

Рецензенты:

Кандидат технических, наук, профессор,
заведующий кафедрой «Испытание сооружений»
ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный
университет»
Ю.С. Кунин

Доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции и
инженерные сооружения»
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
В.Ф. Сабуров

Емельянов О.В., Шаповалов Э.Л.

Проектирование подкрановых конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Олег Владимирович Емельянов, Эдуард Леонидович Шаповалов ; ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (10 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

В учебном пособии изложены сведения о типах, характеристиках и конструктивных решениях подкрановых конструкций, тормозных конструкций, связях, крановых рельсах и упорах, нагрузках, которые они могут воспринимать. Рассмотрены вопросы расчета балок сплошного сечения, решетчатых подкрановых конструкций: подкрановых и подкраново-подстропильных ферм, путей подвесных и консольных кранов. Приведены узлы опирания подкрановых конструкций на колонны, сопряжения тормозных конструкций с колоннами и крепления крановых рельсов.

Данное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Промышленное и гражданское строительство», 270102, «Проектирование зданий» 270114, бакалавров по направлению «Строительство» 270100.68 при изучении дисциплины «Металлические конструкции, включая сварку», магистров по направлению «Строительство» 270100.62 при изучении курса «Диагностика состояния строительных конструкций. Мониторинг технического состояния зданий и сооружений». А также для инженеров проектных организаций и практикующих специалистов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
1.1. Типы и характеристика подкрановых конструкций.....	5
1.2. Мостовые, консольные и подвесные краны	9
1.3. Нагрузки и расчетные усилия	165
2. ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ СПЛОШНОГО СЕЧЕНИЯ.....	20
2.1. Конструктивные решения.....	20
2.2. Расчет подкрановых балок	23
2.2.1. Определение расчетных усилий	23
2.2.2. Проверка прочности подкрановых балок	26
2.2.3. Подбор сечений подкрановых балок.....	30
2.3. Опираие подкрановых конструкций на колонны.....	333
2.4. Тормозные конструкции. Связи	45
2.5. Крановые рельсы и их крепления. Упоры	57
3. РЕШЕТЧАТЫЕ ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ (фермы)	65
4. ПОДКРАНОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ КОНСОЛЬНЫХ КРАНОВ.....	69
5. ПУТИ ПОДВЕСНОГО ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	73

ВВЕДЕНИЕ

В данном учебном пособии, кафедрой строительных конструкций ГОУ ВПО МГТУ им. Г.И. Носова, систематизированы и обобщены различные методические разработки и материалы по расчету и проектированию подкрановых конструкций. Материал, содержащийся в учебном пособии, позволит студентам специальностей 270102 «Промышленное и гражданское строительство», 270114 «Проектирование зданий» в процессе самостоятельной подготовки освоить тему «Подкрановые конструкции».

Учебное пособие состоит из введения, 5 глав и библиографического списка.

В первой главе приведены сведения о типах и характеристиках подкрановых конструкций, нагрузках, которые они могут воспринимать, мостовых и подвесных кранах, формулы для определения расчетных давлений колес крана на подкрановые пути и число кранов, учитываемых при расчете элементов подкрановых конструкций.

Вторая глава содержит сведения о конструктивных решениях балок сплошного сечения, расчете балок (определении расчетных усилий, проверках прочности, порядке подбора сечений), узлах опирания подкрановых конструкций на колонны, типах тормозных конструкций и узлах их сопряжения с колоннами, связях, крановых рельсах и их креплениях, упорах.

В третьей главе рассмотрены общие положения по расчету решетчатых подкрановых конструкций: подкрановых и подкраново-подстропильных ферм, приведены конструктивные сведения о них.

Четвертая глава содержит сведения о подкрановых конструкциях консольных кранов.

В пятой главе приведены сведения о путях подвесных кранов и особенностях их расчета и проектирования.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Типы и характеристика подкрановых конструкций

В числе конструктивных элементов, определяющих надежность, эксплуатационную пригодность и долговечность промышленных зданий и сооружений, особое место принадлежит подкрановым конструкциям. Подкрановые конструкции воспринимают воздействия от различного подъемно-транспортного оборудования. Основным видом такого оборудования являются мостовые опорные, консольные и подвесные краны.

В общем случае подкрановые конструкции под мостовые опорные краны (рис. 1) состоят из подкрановых балок или ферм, тормозной балки или фермы, связей по нижнему поясу, вертикальных связей, диафрагм или поперечных связей, крановых рельсов с креплениями и упоров, узлов крепления подкрановых конструкций и представляют собой в совокупности пространственный жесткий брус.

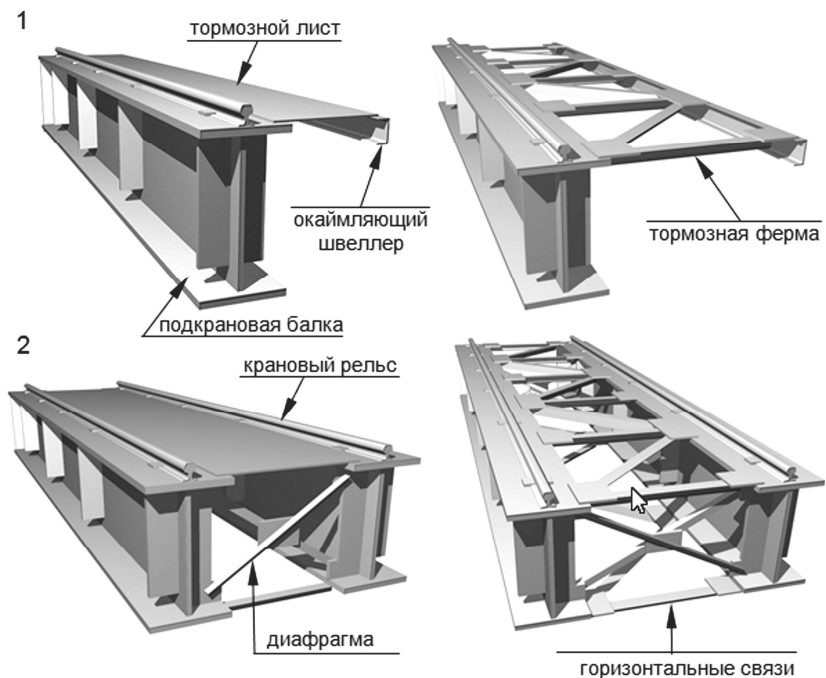


Рис. 1. Подкрановые конструкции:

1 – по крайнему ряду колонн; 2 – по среднему ряду колонн

Подкрановые балки подразделяются:

- по расчетной схеме - на разрезные (рис. 2, а), неразрезные (рис. 2, б) и рамные (рис. 2, в);
- по конструктивной схеме - на балки сплошного сечения (рис. 3, а), подкрановые фермы (рис. 3, б), подкраново-подстропильные фермы (рис. 3, в);
- по способу приложения нагрузок - с ездой поверху и с ездой понизу (рис. 4);
- по способу соединения элементов - на сварные (рис. 5, а, б), клепаные и на высокопрочных болтах (рис. 5, в, г), комбинированные (рис. 5, д).

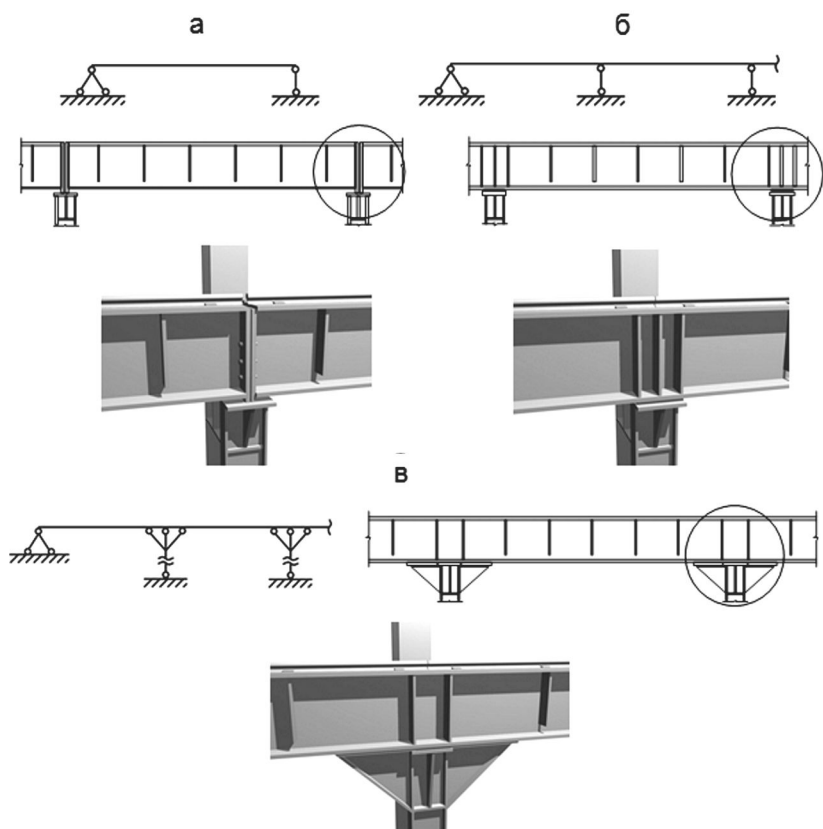


Рис. 2. Схемы и виды подкрановых конструкций:
 а – разрезная; б – неразрезная; в – рамная (с подкосами)

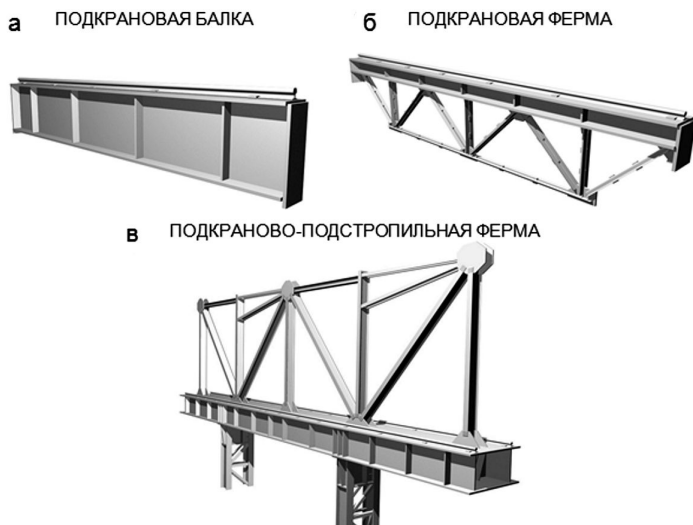


Рис. 3. Подкрановые конструкции

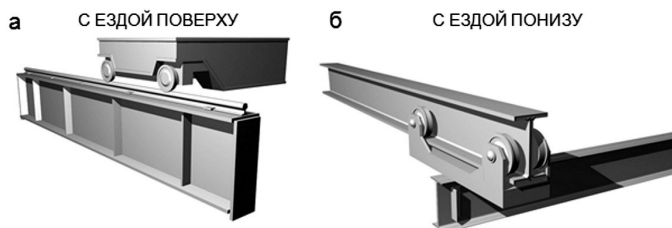


Рис. 4. Приложение крановой нагрузки

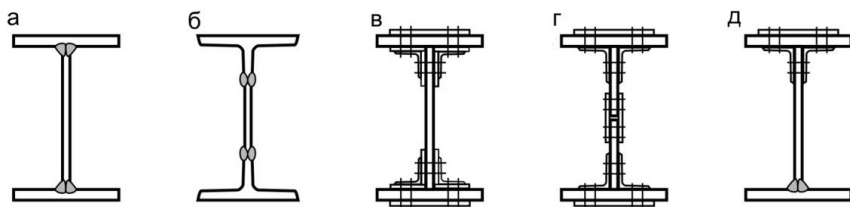


Рис. 5. Типы соединения элементов балки

Разрезные подкрановые балки обладают следующими преимуществами: простота конструктивного решения, отсутствие монтажных стыков, меньшее по сравнению с неразрезными балками опорное давление на колонну, нечувствительность к осадкам опор, удобство монтажа. Благодаря этим преимуществам разрезные подкрановые балки получили наибольшее распространение.

К недостаткам разрезных балок следует отнести: повышенный расход стали по сравнению с неразрезными балками, более сложную конструкцию креплений подкрановых балок и тормозных конструкций к колоннам, поскольку при прохождении мостовых кранов происходит поворот опорных сечений балок относительно точек опирания балки на колонну. При этом торцы верхних поясов получают горизонтальное смещение (рис. 6), равное:

$$\Delta_H = \frac{Mlh}{6EJ}, \quad (1)$$

где M - расчетный изгибающий момент; l - пролет балки; h - высота балки; E - модуль упругости; J - момент инерции балки.

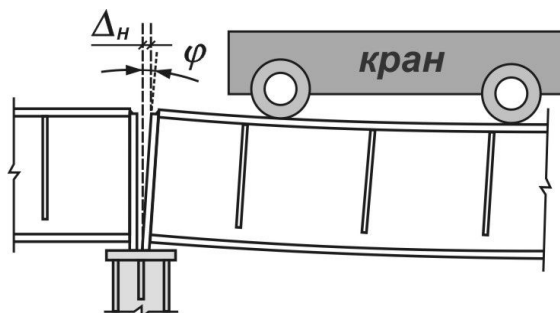


Рис. 6. Поворот опорных сечений балки

Это особенно неблагоприятно сказывается на работе узлов примыкания подкрановых конструкций при кранах тяжелого режима работы и в отдельных случаях вызывает их расстройство.

Неразрезные подкрановые балки по сравнению с разрезными на 12–15% экономичнее по расходу металла, более надежны в эксплуатации благодаря отсутствию перелома упругой линии на опорах. К недостаткам неразрезных балок относятся: некоторое усложнение конструктивного решения, повышение трудоемкости монтажа из-за устройства монтажных стыков, увеличение опорного давления на колонны, чувствительность конструкции к осадкам опор. Одним из критериев, определяющих рациональность применения неразрезных балок, является упругая осадка, характеризуемая коэффициентом:

$$C = \frac{\Delta EJ}{l^3}, \quad (2)$$

где Δ - перемещение опоры с учетом просадки фундамента от единичной силы; EJ - жесткость подкрановой балки; l - пролет балки. При $C = 0,05$ неразрезные балки применять не рекомендуется. Не рекомендуется их также применять при просадочных грунтах.

Рамные подкрановые конструкции с подкосами или круглыми вутами имеют следующие преимущества по сравнению с разрезными и неразрезными конструкциями: меньший расход стали, достаточную продольную жесткость, не требующую установки вертикальных связей по колоннам часто затрудняющих технологическую компоновку. Недостатками рамных подкрановых конструкций являются: усложнение конструктивного решения и монтажа, наличие значительных горизонтальных опорных реакций, приводящих к усложнению конструкций колонн. По этим причинам рамные подкрановые конструкции в последние годы практически не применяются.

Подкрановые фермы с жестким верхним ездовым поясом (см. рис. 3, б) экономичнее разрезных балок сплошного сечения на 15 – 20%, причем экономия возрастает с увеличением пролета фермы. Наиболее рациональная область применения подкрановых ферм – при пролетах 12 м и более и грузоподъемности кранов до 30 т.

Подкраново-подстропильные фермы с жестким нижним ездовым поясом применяются при кранах большой грузоподъемности и шаге колонн 24 м и более.

Нижний пояс выполняется в виде тонкостенной оболочки прямоугольного сечения, которая воспринимает местные вертикальные и горизонтальные воздействия крановой нагрузки между узлами фермы, крутящие моменты от внецентренного приложения нагрузок по отношению к центру кручения оболочки, а также усилия растяжения, как в нижнем поясе стержневой системы. На элементы верхнего пояса и решетки фермы опираются стропильные и другие конструкции. Экономичность применения таких конструкций возрастает с увеличением шага колонн и составляет 4 – 6% при шаге колонн 24 м, 12 – 16% при шаге 36 м.

1.2. Мостовые, консольные и подвесные краны

Мостовые электрические краны состоят из моста, перемещающегося по подкрановым путям на ходовых колесах (Рис. 7).

Рельсовые пути укладываются вдоль балок, закрепленных на ступенях или консольных выступах колонн.

Расстояние по горизонтали между осями крановых рельсов называется пролетом крана.

Расстояние между осями крайних передних и задних колес называется базой крана.

Расстояние между осями подтележечных рельсов называется колеей тележки.

Расстояние между осями ходовых колес тележки называется базой тележки.

Электрическое напряжение на кран подается через цеховые троллеи на токосъемники скользящего типа, прикрепленные к конструкции крана. Они скользят по троллеям при движении крана. Для обслуживания троллеев на кране предусматривается специальная площадка, обычно, располагающаяся напротив кабины управления.

Подвижные консольные краны применяют при необходимости обслуживания узких зон помещений вдоль колонн зданий или в промежуточном пространстве между зданиями. Передвигаются они по рельсам, укрепленным вдоль стен здания. Такие краны снабжены тележкой, двигающейся вдоль горизонтальной консольной стрелы (рис. 8). Для перемещения консольных кранов устанавливают три балки: одну - для восприятия вертикальной нагрузки, две - горизонтальной. Консольные краны могут быть с верхним и нижним положением ездовой балки.

Подвесные краны (кран-балки) с электроталью имеют большую грузоподъемность (до 10 т). Основным видом путей для них являются прокатные или составные двутавровые балки, устанавливаемые по разрезной или неразрезной схемам (рис. 9).

Длина крана в пролете здания может быть до 24 м. Управление происходит из кабины или с пола через пульт. Подвесные краны обладают значительно меньшей массой по сравнению с мостовыми кранами.

Балки крепятся к конструкциям покрытия или перекрытия, а катки крана перемещаются непосредственно по нижним поясам путевых балок (рис. 9). Применяются двух-, трех- и многоопорные краны (рис. 10). Для ремонта оборудования и выполнения вспомогательных операций здания оборудуются тельферами, перемещающимися по монорельсовым путям из прокатных двутавров (см. рис. 10). Для уменьшения изгибающих моментов в балках могут устанавливаться дополнительные подвески (рис. 11). При 12 м пролете подкрановых путей возможно применение перфорированных балок (рис. 12).

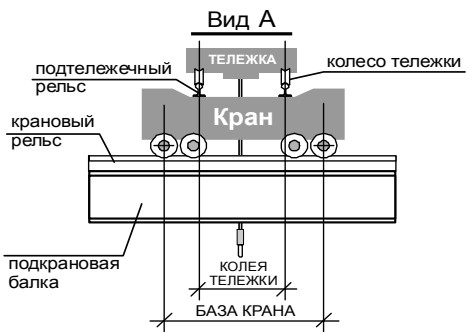
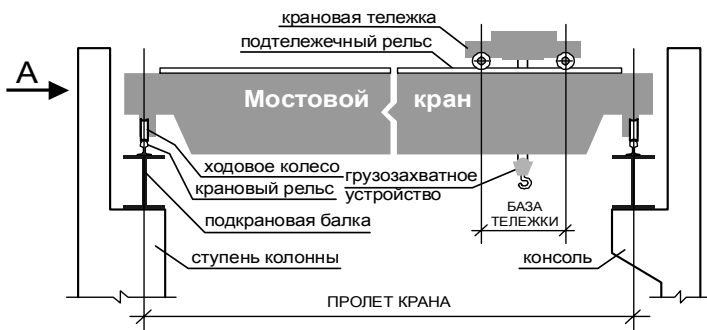
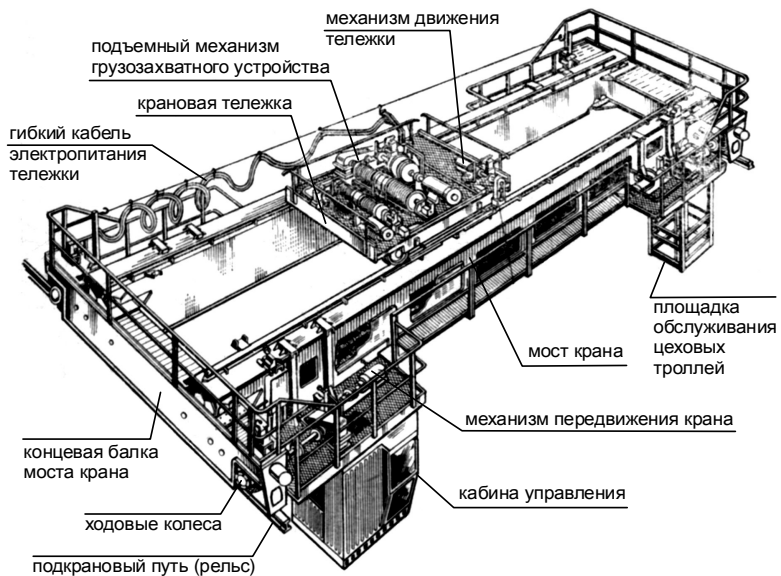


Рис. 7. Мостовой электрический кран. Схема в пролете здания

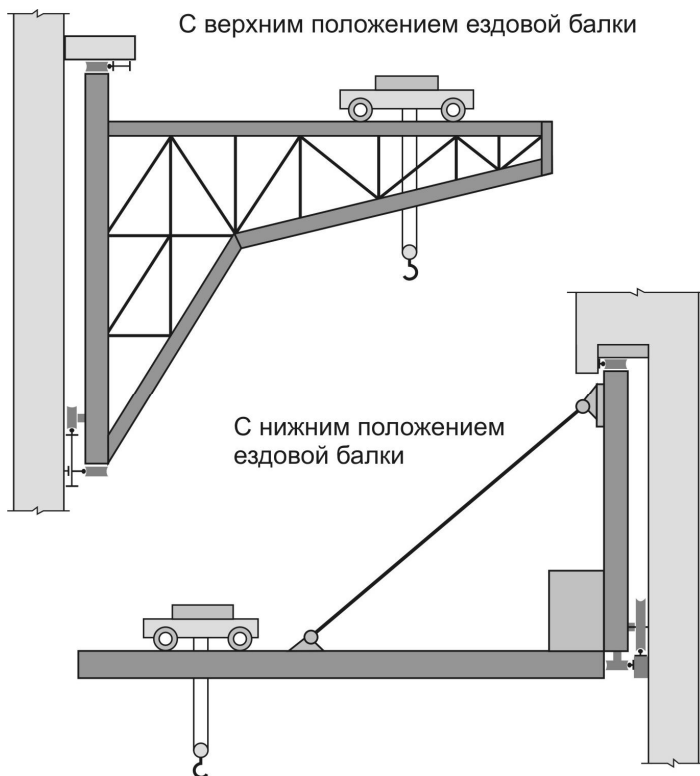
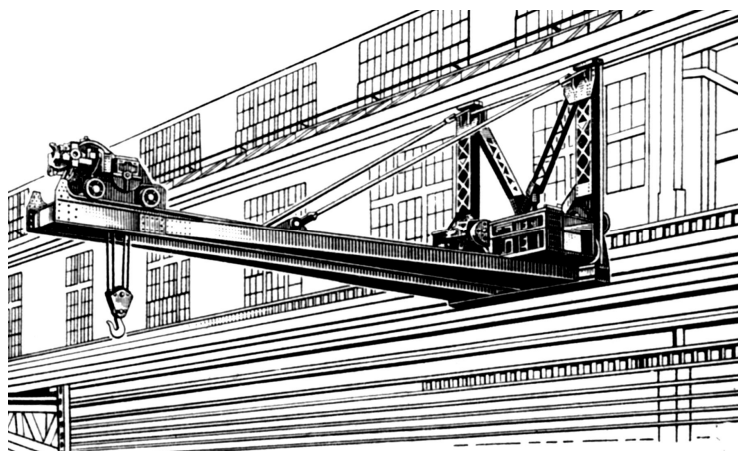


Рис. 8. Вид и схемы консольных кранов

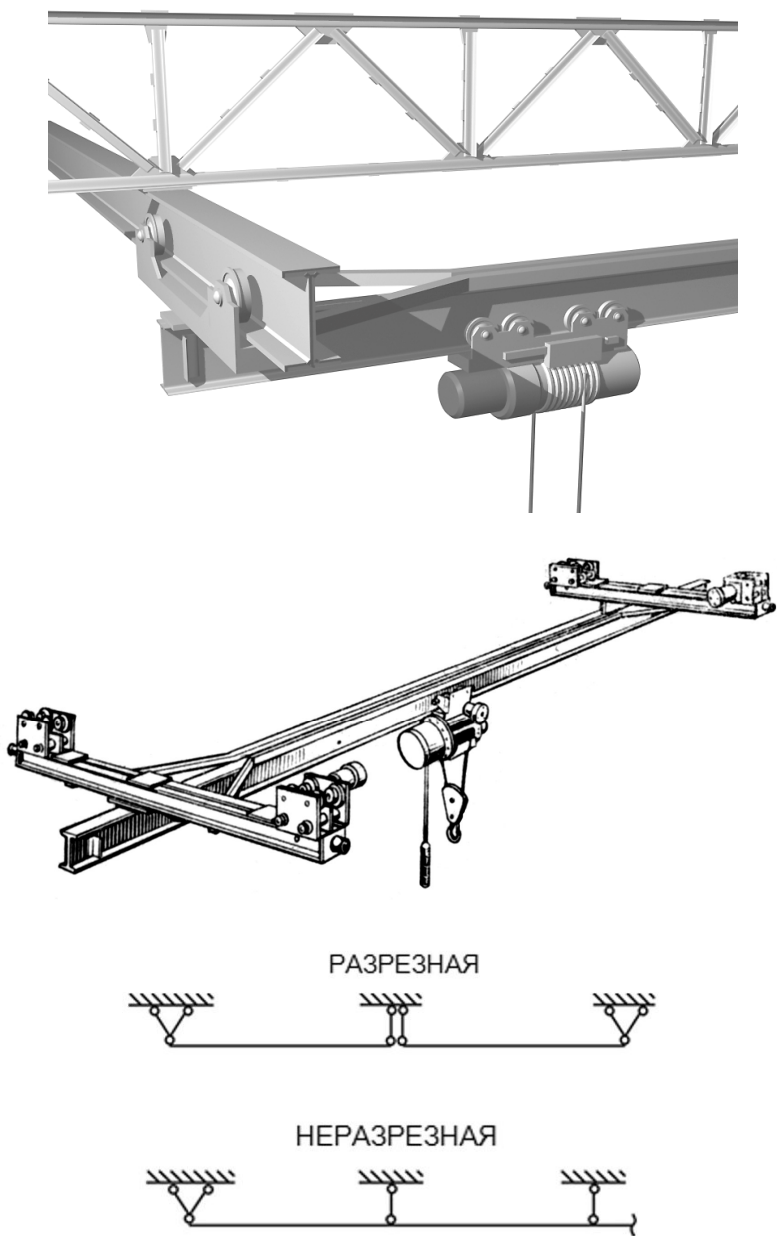


Рис. 9. Двухопорный подвесной кран (кран-балка). Расчетные схемы подкрановых конструкций

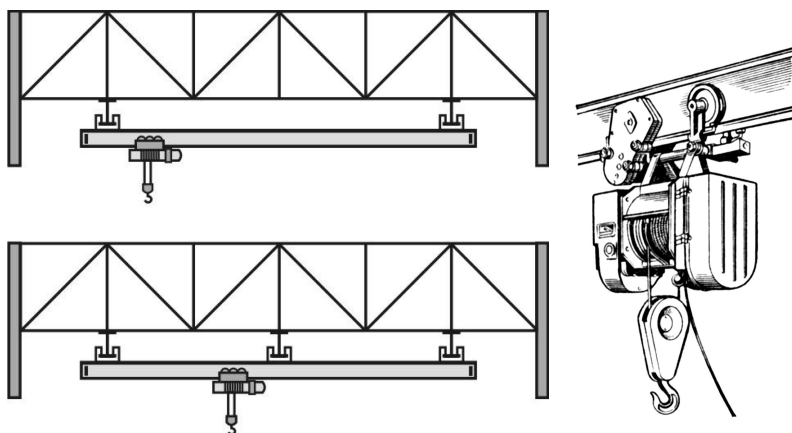


Рис. 10. Двух- и трехопорные подвесные краны. Тельфер

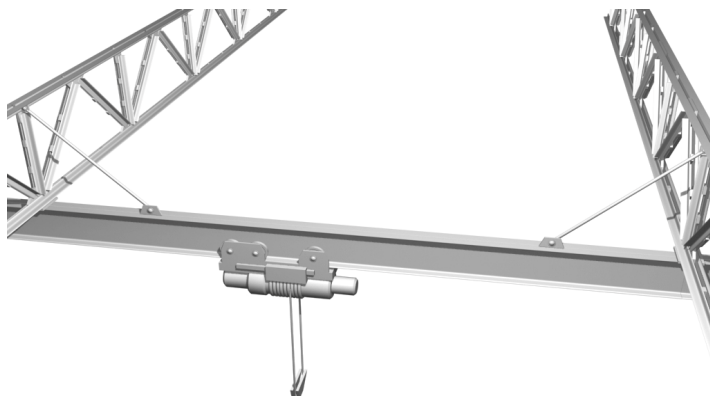


Рис. 11. Подкрановые пути с подвесками

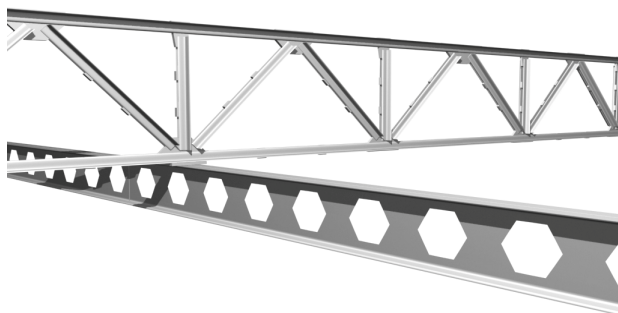


Рис. 12. Перфорированная балка

1.3. Нагрузки и расчетные усилия

Подкрановые конструкции могут воспринимать следующие виды нагрузок и воздействий:

- а) собственный вес конструкций;
- б) вертикальные, горизонтальные и крутящие воздействия катков крана;
- в) нагрузки от веса людей и ремонтных материалов на тормозных конструкциях и площадках, примыкающих к крановым путям;
- г) снеговые и ветровые нагрузки;
- з) температурные воздействия;
- и) сейсмические нагрузки;
- к) воздействия от осадки и поворота фундаментов и балок.

Из указанных нагрузок: «а» - является постоянной нагрузкой; «з», «и» - особыми нагрузками; остальные относятся к кратковременным нагрузкам, причем нагрузки «б» считаются одной кратковременной нагрузкой, принимаемой с учетом коэффициента сочетания. Собственный вес конструкций принимается по предварительным размерам или проектным аналогам с коэффициентом надежности по нагрузке согласно п. 2.2 [2].

Для упрощения расчетов допускается учитывать собственный вес конструкций и временную нагрузку на тормозные площадки путем умножения расчетных усилий и деформаций, определенных от вертикальной крановой нагрузки, на коэффициенты: для балок пролетом 6 м - 1,06; для балок пролетом 12 м и более - 1,08.

Нагрузки от мостовых и подвесных кранов следует определять в зависимости от групп режимов их работы, устанавливаемых ГОСТ 25546-82*, вида привода и способа подвеса груза.

Полные нормативные значения вертикальных нагрузок, передаваемых колесами кранов на балки кранового пути, следует принимать в соответствии с требованиями стандартов на краны или данными, указанными в паспортах заводов-изготовителей.

Торможение моста электрического крана вызывает горизонтальную нагрузку, направленную вдоль кранового пути, нормативное значение которой следует принимать

$$T_{bn} = 0,1F_k^n \Pi_T, \quad (3)$$

где Π_T - число тормозных катков на рассматриваемой стороне крана (при отсутствии специальных указаний $\Pi_T=0,5\Pi_k$; Π_k - число катков на одной стороне крана); F_k^n - нормативная вертикальная на-

грузка на каток.

Нормативное значение горизонтальной нагрузки, вызываемой торможением электрической тележки и направленной поперек кранового пути, следует принимать:

$$Q_b^n = 0,05 \frac{Q_{кр} + q_T}{n_k} \text{ – при гибком подвесе груза;} \quad (4)$$
$$Q_b^n = 0,1 \frac{Q_{кр} + q_T}{n_k} \text{ – при жестком подвесе груза,}$$

где $Q_{кр}$ - грузоподъемность крана; q_T - вес тележки; n_k - число колес с одной стороны крана.

Нагрузка от поперечного торможения тележки распределяется поровну между всеми опирающимися на балку колесами крана и может быть направлена как внутрь, так и наружу рассматриваемого пролета.

При расчете элементов крановых путей в зданиях с кранами групп режимов работы 7К, 8К нормативное значение горизонтальной нагрузки, направленной поперек кранового пути и вызванной перекосами мостовых электрических кранов и не параллельностью крановых путей (боковой силой) Q_t^n , для каждого ходового колеса принимается:

$$Q_t^n = 0,1 F_k^n . \quad (5)$$

Нагрузка передается на балку кранового пути от всех колес одной стороны крана и может быть направлена как внутрь, так и наружу рассматриваемого пролета.

При расчете крановых путей вертикальная нагрузка условно считается приложенной по оси вертикальной стенки балки, а горизонтальные нагрузки от торможения моста и тележки крана, боковые силы считаются приложенными в месте контакта ходовых колес крана с рельсом.

Внецентренное расположение рельса на балке, а также воздействие горизонтальной поперечной силы вызывают возникновение местного крутящего момента (рис. 13). Нормативное значение местного крутящего момента

$$M_t^n = F_k^n e + 0,75 Q_t^n h_r ; \quad (6)$$

расчетное

$$M_i^n = \gamma_{f1} F_k^n e + 0,75 \gamma_f \gamma_d Q_t^n h_r, \quad (7)$$

где e - условный эксцентриситет, принимаемый 15 мм; γ_{f1} - коэффициент увеличения вертикальной сосредоточенной нагрузки от одного колеса крана вследствие местного и динамического действия (п. 4.8 [2]); γ_f - коэффициент надежности по нагрузке (п. 4.8 [2]); γ_d - коэффициент динамичности (п. 4.9 [2]).

Нормативное значение горизонтальной нагрузки, вызываемой ударом крана о тупиковый упор и направленной вдоль кранового пути, равно:

$$T_i^n = \frac{m_k v^2}{f}, \quad (8)$$

где v - скорость передвижения крана в момент удара, принимаемая равной половине номинальной, м/с; f - возможная наибольшая осадка буфера, принимаемая 0,1 м для кранов с гибким подвесом груза массой не более 50 т групп режимов работы 1К–7К и 0,2 м - в остальных случаях; m_k - приведенная масса крана, определяемая по формуле:

$$m_k = \frac{m_b}{2} + (q_t + kQ) \frac{l - l_1}{l}, \quad (9)$$

где m_b - масса моста крана, т; q_t - масса тележки; Q - грузоподъемность крана, т; k - коэффициент ($k = 0$ - для кранов с гибким подвесом груза, $k = 1$ - для кранов с жестким подвесом груза); l - пролет крана, м; l_1 - приближение тележки, м.

Расчетное значение нагрузки T_i с учетом коэффициента надежности по нагрузке γ_f принимается не более значений, указанных в табл. 1.

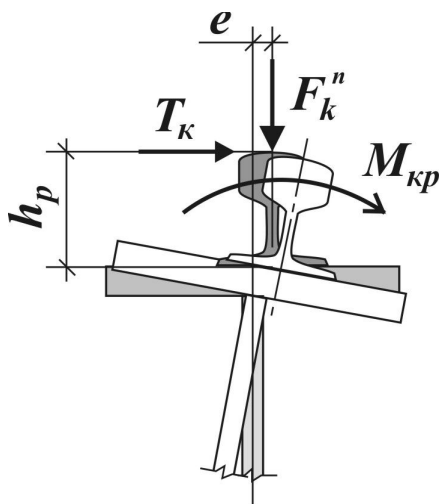


Рис. 13. Действие вертикальной и горизонтальной крановых сил на подкрановую балку

Таблица 1

Предельные значения расчетных горизонтальных нагрузок
на тупиковый упор

Краны	T_i , т
Подвесные (ручные и электрические) и мостовые ручные краны	1
Электрические мостовые:	
– общего назначения групп режимов работы 1К–8К	5
– общего назначения и специальных групп режимов работы 4К–7К, а также литейные	15
– специальные группы режима работы 8К с подвесом груза:	
– гибким	25
– жестким	50

Расчетные значения крановых нагрузок определяют умножением нормативных значений нагрузок на коэффициенты надежности по нагрузке γ_f (п. 4.8 [2]), динамичности γ_d (п. 4.9 [2]) и сочетаний ψ (п. 4.17 [2]).

При учете местного и динамического действия сосредоточенной вертикальной нагрузки от одного колеса крана полное нормативное значение этой нагрузки следует умножать на дополнительный коэффициент $\gamma_{\text{д}}$ (п. 4.8 [2]).

Формулы для определения расчетных давлений колеса крана на подкрановые пути и число кранов, учитываемых при расчете элементов подкрановых конструкций, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Элементы конструкций	Вид проверки	Число кранов, учитываемых в расчете	Формула расчетного воздействия и значения коэффициентов для групп режимов работы крана			
			1К–5К	6К	7К	8К
Подкрановая балка, подкрановая ферма, подкраново-подстропильная ферма, тормозные конструкции	Общая прочности и устойчивости	1 кран	$F = \gamma_f F_n$	$F = \gamma_f \gamma_d F_n$	$F = \gamma_f \gamma_d F_n$	$F = \gamma_f \gamma_d F_n$
			$Q_b = \gamma_f Q_{bn}$	$Q_b = \gamma_f Q_{bn}$	$Q_i = \gamma_f Q_{in}$	$Q_i = \gamma_f \gamma_d Q_{in}$
			$T_b = \gamma_f T_{bn}$	$T_b = \gamma_f T_{bn}$	$T_b = \gamma_f T_{bn}$	$T_b = \gamma_f \gamma_d T_{bn}$
		2 крана	$F = \gamma_f \psi F_n$	$F = \gamma_f \gamma_d \psi F$	$F = \gamma_f \gamma_d \psi F$	$F = \gamma_f \gamma_d \psi F$
			$Q_b = \gamma_f \psi Q_{bn}$	$Q_b = \gamma_f \psi Q_{bn}$	$Q_i = \gamma_f \psi Q_{in}$	$Q_i = \gamma_f \gamma_d \psi Q_{in}$
			$T_b = \gamma_f \psi T_{bn}$	$T_b = \gamma_f \psi T_{bn}$	$T_b = \gamma_f \psi T_{bn}$	$T_b = \gamma_f \gamma_d \psi T_{bn}$
	4 крана*	$F = \gamma_f \psi F_n$	$F = \gamma_f \gamma_d \psi F$	$F = \gamma_f \gamma_d \psi F$	$F = \gamma_f \gamma_d \psi F$	
	Вынослivosti	1 кран	$F = 0,5 F_n$	$F = 0,5 F_n$	$F = 0,6 F_n$	$F = 0,7 F_n$
	Прогиба в вертикальной и горизонтальной плоскостях	1 кран	$F = F_n$ $Q = Q_{bn}$	$F = F_n$ $Q = Q_{bn}$	$F = F_n$ $Q = Q_{bn}$	$F = F_n$ $Q = Q_{bn}$
	Местная прочности	1 каток	$F = \gamma_{fl} F_n$	$F = \gamma_{fl} F_n$	$F = \gamma_{fl} F_n$	$F = \gamma_{fl} F_n$
Местная устойчивости	1 каток	—	—	$M_i = \gamma_{fl} F_n e + 0,75 \gamma_{fl} Q_{in} h_r$	$M_i = \gamma_{fl} F_n e + 0,75 \gamma_f \gamma_d Q_{in} h_r$	
Местная вынослivosti стенки	1 каток	$F = \gamma_{fl} F_n$	$F = \gamma_{fl} F_n$	$F = \gamma_{fl} F_n$	$F = \gamma_{fl} F_n$	
Упоры	Общая прочности	1 кран	$F = 0,5 \gamma_{fl} F_n$	$F = 0,5 \gamma_{fl} F_n$	$F = 0,6 \gamma_{fl} F_n$	$F = 0,7 \gamma_{fl} F_n$
Крепление балок и тормозных конструкций			—	—	$M_i = 0,6 \gamma_{fl} F_n e + 0,75 \gamma_f \cdot Q_{in} h_r$	$M_i = 0,7 \gamma_{fl} F_n e + 0,75 \gamma_f \gamma_d Q_{in} h_r$
			$T_i = \gamma_f T_{in}$	$T_i = \gamma_f T_{in}$	$T_i = \gamma_f T_{in}$	$T_i = \gamma_f T_{in}$
			$Q = \gamma_f Q_{bn}$	$Q = \gamma_f Q_{bn}$	$Q = \gamma_f Q_{in}$	$Q = \gamma_f \gamma_d Q_{in}$

* При расчете подкраново-подстропильных ферм.

2. ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ СПЛОШНОГО СЕЧЕНИЯ

2.1. Конструктивные решения

Конструктивные решения формы подкрановых балок сплошного сечения, встречающиеся в практике проектирования и эксплуатации, имеют общую тенденцию при разработке, направленную на снижение местных напряжений (рис. 14).

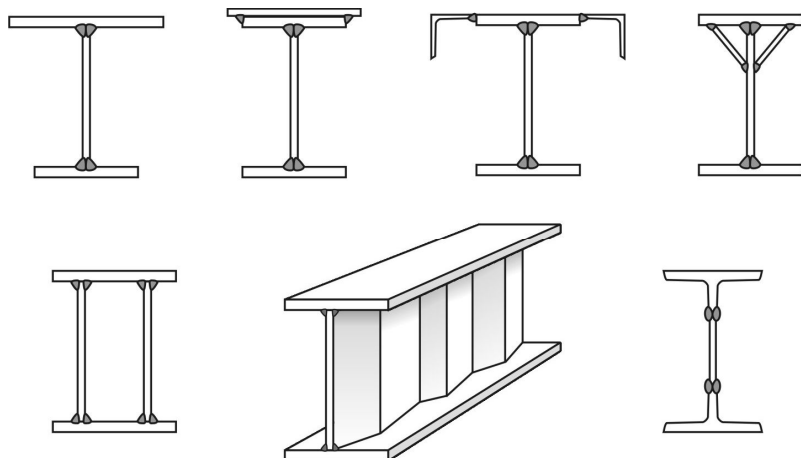


Рис. 14. Типы сечений подкрановых балок

Усложнения конструктивных решений балок типов 2–5, 9–12 направлены на увеличение крутильной жесткости верхней зоны подкрановых балок (рис. 15). При этом существенного увеличения выносливости в балках типов 1–5 достигнуть не удалось. Долговечность подкрановых балок с опиранием рельса на поперечные ребра жесткости (тип 6) в 4 раза выше, чем у балки типа 1. Установка наклонных ламелей (типы 3, 5) незначительно повышает долговечность балок. Разрушение таких балок происходит в опорном сечении, в местах приварки ламелей к опорным планкам.

Конструирование подкрановых балок с коробчатым сечением верхнего пояса связано с необходимостью исключения передачи давления рельса непосредственно на сварной шов, соединяющий полку со стенкой. Такое решение приводит к перерасходу металла, усложнению технологии и увеличению трудоемкости изготовления. Опыт эксплуатации показывает, применение такого сечения может быть целесообразно для подкраново-подстропильных ферм пролетом 24 м и больше.

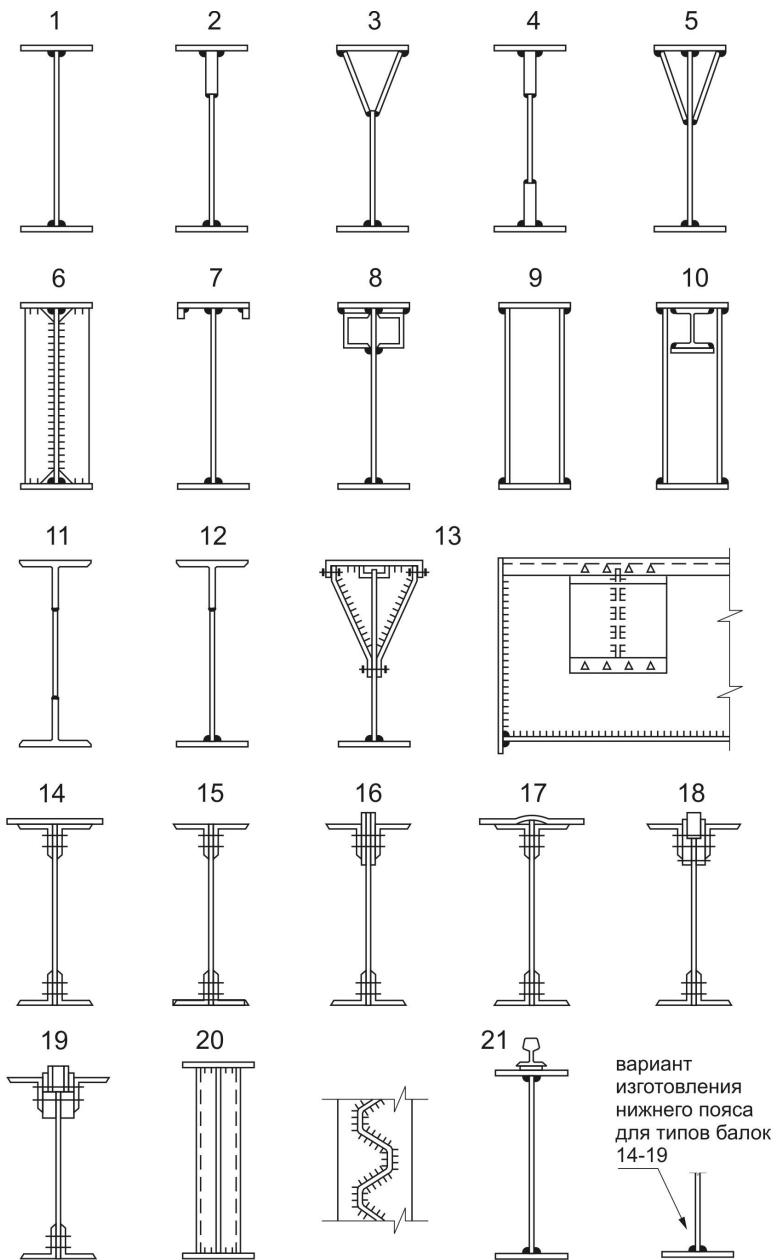


Рис. 15. Конструктивные формы подкрановых балок

Применение в балках гофрированной стенки (тип 20) увеличивает крутильную жесткость балки. Однако вследствие сложной конфигурации стенки, усложняющей выполнение шва прикрепления стенки к поясам, большой деформативности стенки и ограничения ее толщины ($\delta \leq 8$ мм) такие балки не нашли применения на практике.

В подкрановых балках с поясами из широкополочных тавров (типы 11, 12) перенесение сварного шва, являющегося концентратором напряжений и источником остаточных сварочных напряжений, в менее напряженную зону стенки позволяет существенно повысить их долговечность. Однако из-за ограничений сортамента такая балка может быть рекомендована только для кранов групп режима работы 4К–8К грузоподъемностью не более 50 т. Балка типа 13 спроектирована без сварного шва в месте передачи нагрузки от колеса крана. Однако наличие строганного вкладыша со специально выполненным пазом и гнутых опорных ребер значительно усложняет их изготовление.

Величина местных напряжений в зоне сопряжения верхнего пояса и стенки балки существенно зависит от конструкции и состояния крепления кранового рельса. В результате изучения напряженно-деформированного состояния в данной зоне были предложены различные способы крепления кранового рельса. Конструкция гибкого крепления рельсов (тип 21) через стальные прокладки с выпуклой к низу цилиндрической поверхностью, устанавливаемых по всей длине рельса, позволяет снизить местные напряжения в 4–5 раз. Опыт применения балок с такими креплениями рельсов показал их высокую эксплуатационную надежность. Однако отсутствие промышленного производства прокладок и гибких прижимов является препятствием широкого применения крепления рельсов данным способом. Снижения местных напряжений можно также достичь, укладывая рельсы на низко модульные прокладки и фиксируя их пружинными креплениями. Срок службы низко модульных прокладок при этом составляет 4–5 лет.

Результаты исследований подкрановых рельсов на кручение подтвердили их значительно большую крутильную жесткость по сравнению с жесткостью верхнего пояса. Обеспечение совместной работы подкранового рельса и верхнего пояса повышает сопротивление верхнего пояса кручению. Наибольший эффект достигается при жестком креплении рельсов в сечениях, расположенных над вертикальными ребрами. Для этого целесообразно использование высокопрочных болтов, затянутых на нормативные усилия. Передача усилий от местного кручения в местах установки ребер, уменьшение расстояния между ребрами

улучшают напряженное состояние стенки, но повышенная склонность к усталостному разрушению участка шва вблизи ребер не приводит к ожидаемому возрастанию долговечности балки.

Для подкрановых балок под краны групп режима работы 6К–8К эффективно соединение поясов со стенкой, выполненное на высокопрочных болтах (типы 14–19).

Применение высокопрочных болтов при соединении элементов балок:

- увеличивает ресурс балки, поскольку усталостная прочность соединений на высокопрочных болтах существенно выше по сравнению со сварными и заклепочными соединениями;
- повышает технологичность балок, благодаря постановке высокопрочных болтов взамен заклепок;
- дает возможность сборки балки из отдельных легко перевозимых элементов непосредственно на месте монтажа в отдаленных и труднодоступных районах, а также северных (снижение требований к материалу конструкций);
- обеспечивает высокую ремонтпригодность подкрановых конструкций.

2.2. Расчет подкрановых балок

Расчет подкрановых балок во многом аналогичен расчету обычных балок. Однако подвижная нагрузка, вызывающая большие местные напряжения под катками крана, одновременные воздействия вертикальных и горизонтальных боковых сил, динамичность нагрузки и многократность ее приложения приводят к тому, что расчет подкрановых балок имеет свои особенности.

2.2.1. *Определение расчетных усилий*

Расчетные усилия (максимальные изгибающие моменты и поперечные силы) в подкрановых балках определяют:

- для расчета прочности и устойчивости балок крановых путей от нагрузки не более чем от двух сближенных кранов наибольшей грузоподъемности;
- для расчета вертикальных и горизонтальных прогибов балок крановых путей от одного наиболее неблагоприятного по воздействию крана.

Поскольку нагрузка от кранов подвижная, сначала нужно найти такое ее положение, при котором расчетные усилия в балке будут максимальными.

Из статике сооружений известно, что наиболее невыгодное нагружение простой двухопорной балки системой взаимосвязанных подвижных грузов имеет место в том случае,

когда над вершиной треугольной линии влияния (рис. 16) располагается критический груз F_{cr} , который определяют с помощью двух неравенств:

$$\begin{aligned} (R_a + F_{cr})/a &\geq R_b/b; \\ R_a/a &\leq (F_{cr} + R_b)/b, \end{aligned} \quad (10)$$

где R_a – равнодействующая грузов, расположенных слева от критического; R_b – то же справа; a и b – расстояние от критического до опор.

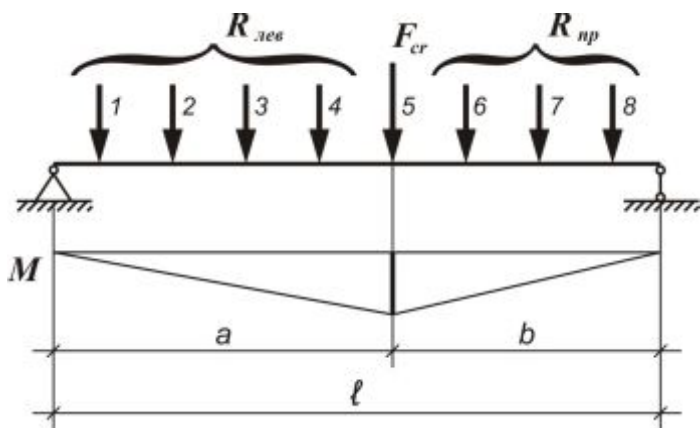


Рис. 16. Вершина линии влияния

Данные неравенства выражают необходимый и достаточный признак критического груза. Удовлетворяющее им решение имеет реальный смысл только в том случае, когда при установке кранов в найденное критическое положение ни один из исследуемых грузов не сойдет с балки.

В практических расчетах для вычисления наибольшего изгибающего момента в разрезных балках от заданной системы сил широко применение нашло правило Винклера: крановую нагрузку на балке необходимо располагать так, чтобы середина балки делила пополам расстояние между равнодействующей всех грузов на балке и ближайшем к ней грузом, являющимся критическим.

Наибольшая поперечная сила Q_{max} в разрезной балке возникает при таком положении нагрузки, когда одна из сил

находится непосредственно над опорой, а остальные расположены как можно ближе к этой же опоре.

В неразрезных балках максимальные внутренние усилия определяют загрузением линий влияния, построенных для опорных и промежуточных сечений.

Расчетные усилия (изгибающий момент и поперечную силу) от вертикальной нагрузки определяют по формулам:

$$M_x = \alpha \sum F_{ki} y_{i,M} ; Q_x = \alpha \sum F_{ki} y_{i,Q} , \quad (11)$$

где α – коэффициент, учитывающий влияние собственного веса балки; F_{ki} – расчетное вертикальное усилие на колесе крана; $y_{i,M}$, $y_{i,Q}$ – ординаты линий влияния момента и поперечной силы.

Расчетный изгибающий момент и поперечную силу от горизонтальной нагрузки определяют при том же положении кранов на балке:

$$M_y = \alpha \sum T_{ki} y_{i,M} ; Q_y = \alpha \sum T_{ki} y_{i,Q} . \quad (12)$$

2.2.2. Проверка прочности подкрановых балок

Под действием вертикальных и горизонтальных нагрузок подкрановая балка и тормозная конструкция работают как единый тонкостенный стержень на кривой изгиб с кручением. Поскольку линия действия усилий проходит вблизи центра изгиба, влияние кручения невелико, поэтому в инженерных расчетах балок применяют приближенный подход. Условно считается, что вертикальная нагрузка воспринимается только сечением подкрановой балки (без учета тормозной конструкции), а горизонтальная – только тормозной балкой, в состав которой входят верхний пояс подкрановой балки, тормозной лист и окаймляющий швеллер (или верхний пояс смежной подкрановой балки). Таким образом, верхний пояс балки работает как на вертикальную, так и горизонтальную нагрузки, и максимальное напряжение в т. А пояса (рис. 17) можно определить по формуле

$$\sigma_A = \frac{M_x}{W_x^A} + \frac{M_y}{W_y^A} \leq R_y \gamma_c , \quad (13)$$

напряжения в нижнем поясе равны

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \leq R_y \gamma_c , \quad (14)$$

где W_x^A – момент сопротивления для крайнего волокна верхнего

пояса балки; W_y^A – момент сопротивления тормозной балки для крайней точки верхнего пояса (точка A), при отсутствии тормозных конструкций – момент сопротивления верхнего пояса относительно вертикальной оси; W_x – момент сопротивления для крайнего волокна нижнего пояса балки.

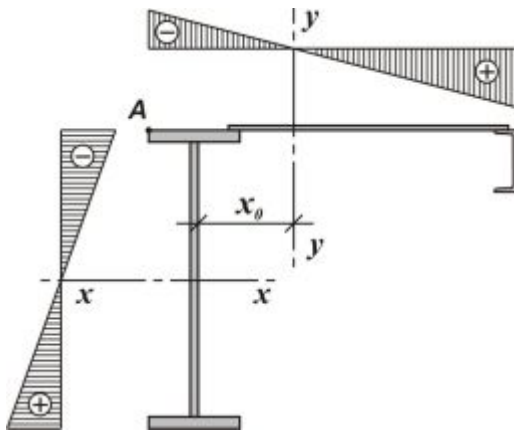


Рис. 17. Напряжения в элементах подкрановой конструкции

При выполнении тормозной конструкции в виде фермы верхний пояс балки помимо напряжений от изгиба в вертикальной плоскости воспринимает осевое усилие $N_x = M_y/h_f$ (h_f – высота тормозной фермы) от работы его в составе фермы и местный момент $M_{loc,y} = 0,9T_k d/4$ (d – расстояние между узлами тормозной фермы) от внеузловое приложения сил T_k (коэффициент 0,9 учитывает неразрезность пояса в узлах).

Устойчивость верхнего пояса из плоскости балки можно проверить по приближенной формуле

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x^A} + \frac{N_x}{\varphi A_f} + \frac{M_{loc,y}}{W_f}, \quad (15)$$

где W_x^A – момент сопротивления для крайнего волокна верхнего пояса балки; W_f – момент сопротивления верхнего пояса относительно вертикальной оси; A_f – площадь сечения пояса балки.

Значение коэффициента φ определяют по гибкости верхнего пояса относительно вертикальной оси балки при расчетной длине пояса, равной d .

Подобранное сечение проверяют на прочность при действии касательных напряжений по формуле

$$\tau = Q_{\max} S / I \cdot t_w, \quad (16)$$

где Q_{\max} – наибольшая поперечная сила на опоре; S и I – статический момент и момент инерции сечения; t_w – толщина стенки балки.

Действующая на балку сосредоточенная нагрузка от колеса крана распределяется рельсом и поясом на некоторый участок стенки, вызывая в ней местные нормальные напряжения $\sigma_{loc,y}$. Прочность стенки на действие максимальных местных напряжений проверяют по формуле

$$\sigma_{loc,y} = \frac{\gamma_{j1} F_k}{t_w l_{ef}} \leq R_y \gamma_c, \quad (17)$$

где F_k – расчетное давление колеса крана без учета коэффициента динамичности; γ_{j1} – коэффициент, учитывающий возможное увеличение давления отдельного колеса крана вследствие перераспределения усилий между колесами и динамического характера нагрузки; t_w – толщина стенки; l_{ef} – условная длина распределения усилия F_k , определяемая по формуле

$$l_{ef} = c \sqrt[3]{I_{1f} / t_w}, \quad (18)$$

где c – коэффициент, учитывающий степень податливости сопряжения пояса и стенки, принимаемый для сварных балок $c = 3,25$, клепаных – $3,75$; I_{1f} – сумма собственных моментов инерции пояса балки и кранового рельса или общий момент инерции рельса и пояса в случае приварки рельса швами, обеспечивающий совместную работу рельса и пояса.

Стенку подкрановой балки необходимо проверить также на совместное действие нормальных, касательных и местных напряжений на уровне верхних поясных швов по формуле (33) [1], в которой при расчете сечений на опорах вместо коэффициента 1,15 следует принимать коэффициент 1,3.

В подкрановых балках для кранов групп режимов работы 7К (в цехах металлургических производств) и 8К по ГОСТ 25546-82 стенку дополнительно следует рассчитывать на прочность с учетом всех компонентов напряженного состояния согласно п. 13.34* [1].

Расчет на выносливость выполняют для подкрановых балок при числе циклов нагружения $n \geq 10^5$ на нагрузку от одного крана с

коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f < 1$ (см. табл. 2) по формуле

$$\sigma_x = \alpha R_v \gamma_v, \quad (19)$$

где $\sigma_x = M_x / W_x$ – напряжение в поясе от вертикальной крановой нагрузки; R_v – расчетное сопротивление усталости, принимаемое по табл. 32 [1] в зависимости от временного сопротивления стали и конструктивного решения (табл. 83 [1]); α – коэффициент, учитывающий число циклов нагружения; γ_v – коэффициент, учитывающий вид напряженного состояния и коэффициент асимметрии цикла напряжений ρ .

В подкрановых балках для кранов групп режимов работы 7К (и 8К дополнительно следует проверить на выносливость верхнюю зону стенки с учетом компонентов местного напряженного состояния согласно п. 13.35* [1]. Данная методика расчета подкрановых балок на выносливость достаточно условная и не отражает всех особенностей действительной работы подкрановых конструкций. Поэтому основным мероприятием по повышению их усталостной прочности является максимальное снижение концентрации и, в частности, перенос шва в менее напряженную зону (см. рис. 15, тип 11,12).

Проверка прогиба подкрановых балок выполняется по правилам строительной механики или приближенным способом. С достаточной степенью точности прогиб разрезных балок может быть определен по формуле

$$f = \frac{M_{x,n} l^2}{10 E I_x}, \quad (20)$$

где $M_{x,n}$ – изгибающий момент в балке от нагрузки одного крана, в неразрезных балках

$$f = \left(\frac{M_m}{10} - \frac{M_l + M_r}{72} \right) \frac{l^2}{E I_x}, \quad (21)$$

где M_l , M_m , M_r – соответственно моменты на левой опоре, в середине пролета и на правой опоре.

Предельно допустимый прогиб подкрановых балок установлен из условия обеспечения нормальной эксплуатации кранов и зависит от режима их работы [2]. Горизонтальный прогиб

тормозных конструкций ограничивают только для кранов особого режима работы, он не должен превышать $1/2000l$.

Общая устойчивость подкрановых балок при наличии тормозной конструкции $h_t \geq l_b/16$ обеспечена и ее проверять не нужно.

При невыполнении выше указанных требований проверку общей устойчивости балок можно выполнить по формуле

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_{x,A}} + \frac{M_y}{W_{y,A}} \leq R_y \gamma_c. \quad (22)$$

Коэффициент φ_b определяют согласно прил. 7 [1].

Приближенно, с некоторым запасом, устойчивость балки можно проверить, если рассмотреть верхний пояс как сжато-изогнутый стержень, нагруженный силой $N = \sigma Af$, где σ – напряжение в верхнем поясе от вертикальной и горизонтальной нагрузок. Тогда расчет балки на общую устойчивость сводится к проверке устойчивости верхнего пояса относительно вертикальной оси по формуле (51) [1].

Местную устойчивость элементов подкрановой балки проверяют так же, как и в обычных балках. Устойчивость поясного листа обеспечивается отношением свеса сжатого пояса к его толщине. Наибольшее отношение свеса принимается без учета пластических деформаций.

Устойчивость стенки подкрановой балки проверяют в соответствии с п.п. 7.6, 7.7 и 7.8 [1] с учетом местных напряжений $\sigma_{loc,y}$.

Ребра жесткости, обеспечивающие местную устойчивость стенки, должны иметь ширину не менее 90 мм. Торцы ребер следует плотно пригнать к верхнему поясу без приварки; при этом в балках под краны особого режима торцы ребер необходимо строгать.

Для подкрановых балок более рациональны ребра жесткости из уголков, привариваемых к стенке балки. Такие ребра улучшают условия опирания верхнего пояса и снижают угол его поворота.

Размеры ребер жесткости принимаются такими же, как и в обычных балках.

Расчет соединений поясов подкрановых балок со стенкой.

Поясные швы крепления верхнего пояса и стенки помимо продольного сдвигающего усилия, возникающего от изгиба балки, воспринимают сосредоточенное усилие от колеса крана.

Результирующее напряжение в швах будет равно геометрической сумме напряжений от поперечной силы и местных напряжений, и прочность по металлу шва может быть проверена по формуле

$$\frac{1}{2\beta_f k_{f \min}} \sqrt{\left(\frac{QS_n}{I_x}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{f1} F_k}{l_{ef}}\right)^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c. \quad (23)$$

Аналогично выполняется проверка по металлу границы сплавления. Нижние поясные швы не воспринимают усилия от колеса крана и их рассчитывают только на касательные напряжения от поперечной силы.

В подкрановых балках под краны с числом циклов нагружения более $2 \cdot 10^6$ верхние поясные швы необходимо выполнять с полным проплавлением на всю толщину стенки. В этом случае швы считаются равнопрочными со стенкой и их можно не рассчитывать.

Для повышения качества шва, снижения концентрации напряжений и повышения долговечности балок поясные швы следует выполнять автоматической сваркой с выводом концов шва на планки.

2.2.3. Подбор сечений подкрановых балок

Подбор сечений подкрановых балок выполняют в том же порядке, что и обычных балок.

Сечение подкрановых балок обычно принимается в виде симметричного двутавра из прокатных широкополочных двутавров (для кранов группы режима работы 1К–3К) или из трех листов в виде сварного двутавра. В некоторых случаях для поясов балок составного сечения возможно выполнение поясов из пакета листов, соединенных на заклепках или высокопрочных болтах. При поточном изготовлении следует проектировать балки с одинаковой шириной поясов.

Минимальная ширина верхнего пояса b_f определяется типом применяемого рельса и способом его крепления к подкрановой балке. В табл. 3 приведены значения минимальной ширины верхнего пояса сварной подкрановой балки при креплении кранового рельса на планках.

Таблица 3

Минимальная ширина верхнего пояса сварной подкрановой балки при креплении кранового рельса на планках

Тормозная конструкция	Минимальная ширина, мм, при грузоподъемности крана, т	
	до 80	свыше 80
Тормозное устройство отсутствует	320	–
Сквозная	360	400
Сплошная	400	450

Минимальную толщину пояса балки t_f назначают из условия обеспечения его местной устойчивости. Толщина полки при некайменном свесе и упругих деформациях материала будет

$$t_f \geq \frac{b_f - t_w}{\sqrt{E/R_y}}. \quad (24)$$

Толщина стенки существенно зависит от значения давления катка крана, являющегося определяющим фактором местной устойчивости. Толщину стенки для балок высотой 1–2 м можно определить по эмпирической формуле $t_w = (7+3h)$, мм, где h – высота балки $(1/8 \div 1/10)l$, м. Минимальная толщина стенки может составлять $1/70$ – $1/200$ высоты балки. Обычно минимальную толщину стенки принимают 8 мм (очень редко 6 мм).

Из условия обеспечения общей прочности определяют требуемый момент сопротивления. Влияние горизонтальных поперечных нагрузок на величину напряжений в верхнем поясе подкрановых балок учитывают коэффициентом β и формулу (13) представляют в виде

$$\sigma = M_x \beta / W_x \leq R_y \gamma_y. \quad (25)$$

Значение коэффициента β рассчитывают по выражению

$$\beta = 1 + \frac{M_y W_x}{M_x W_y} \approx 1 + 2 \left(\frac{M_y h_b}{M_y h_t} \right), \quad (26)$$

где h_t – ширина сечения тормозной конструкции, принимаемая равной высоте сечения нижней (подкрановой) части колонны; h_b – высота балки, задаваемая в пределах $(1/6 \div 1/10)l$ (большие значения принимают при кранах большей грузоподъемности).

Требуемый момент сопротивления балки

$$W_{x,red} = M_x \beta / R_y \gamma_c. \quad (27)$$

Оптимальную высоту балки определяем по формуле

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \frac{h_w}{t_w} W_{x,red}} \quad (28)$$

или
$$h_{\text{онт}} = 1,15 \sqrt{W_{x, \text{red}} / t_w}. \quad (29)$$

При определении минимальной высоты определяем максимальный момент от загрузки балки одним краном $M_{x,n}$ (по линии влияния с использованием правила Винклера). Требуемый момент инерции определяем по формуле

$$J_{x, \text{red}} = \frac{M_{x,n} l^2}{10E [f/l]}. \quad (30)$$

Минимальную высоту балки определяем по формуле

$$h_{\text{min}} = \frac{2J_{x, \text{red}}}{W_{x, \text{red}}}. \quad (31)$$

Окончательно высоту балки принимаем с учетом ширины листов (с припуском для строжки кромок) или, в целях унификации конструкций, кратно 100 мм.

После компоновки выполняют все проверки принятого сечения.

2.3. Опирание подкрановых конструкций на колонны

В узлах опирания подкрановых конструкций на колонны имеет место передача больших вертикальных усилий. Поэтому подкрановые балки и фермы необходимо опирать на колонны с централизованной передачей опорного давления через фрезерованный торец опорного ребра (рис. 18) либо через опорные прокладки, прикрепленные к нижнему поясу (рис. 19). При обоих способах опирания опорным ребрам подкрановых конструкций должны отвечать ребра в оголовке колонны. Допускается при конструировании узлов опирания подкрановых балок на опорную плиту колонны опорные ребра подкрановых балок располагать над полками подкрановой ветви колонны (рис. 20). Для предотвращения повреждений болтового соединения балок на опоре необходимо болты размещать на расстоянии не более 0,6 высоты балки от низа опорного ребра (см. рис. 18, 20) или соединять балки между собой жесткой распоркой в уровне нижнего пояса, допускающей поворот опорного сечения (рис. 21). Конструкция узла опирания неразрезных балок на промежуточные колонны приведена на рис. 22. Узлы опирания неразрезных подкрановых балок на крайние колонны проектируют аналогично узлам опирания разрезных подкрановых балок. При этом конструкция опорного крепления должна быть выполнена с учетом усилия отрыва (рис. 23).

Передача опорных усилий от стальных подкрановых балок на железобетонные колонны осуществляется через распределительную плиту. Крепление балок выполняется анкерными болтами (рис. 24).

При опирании подкрановых балок на колонны в связевых панелях для передачи продольных горизонтальных усилий на связи необходимо предусматривать дополнительное крепление балок к колоннам (рис. 25).

Опираение на колонну подкрановых балок различной высоты осуществляется посредством установки опорных столиков на опорном ребре более высокой балки (рис. 26), либо посредством развития опорного сечения балки, имеющей меньшую высоту (рис. 27).

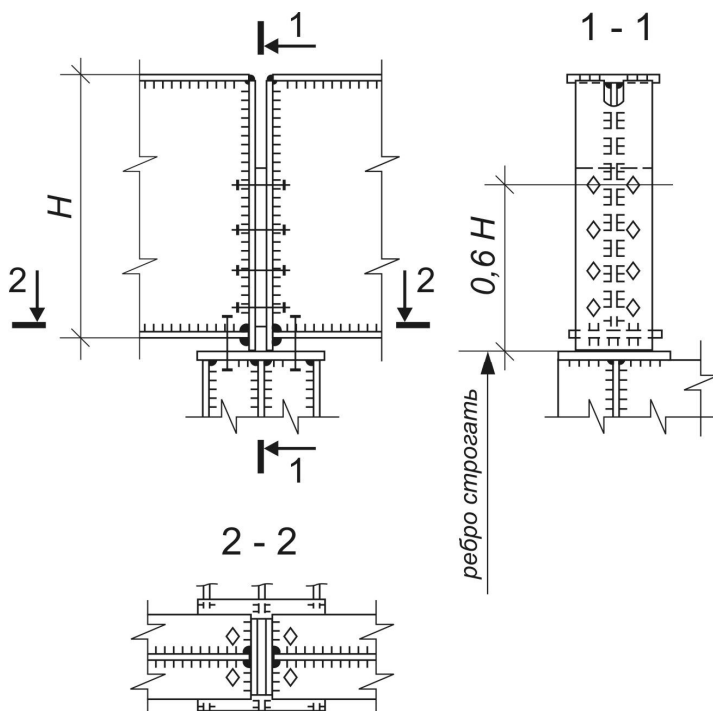
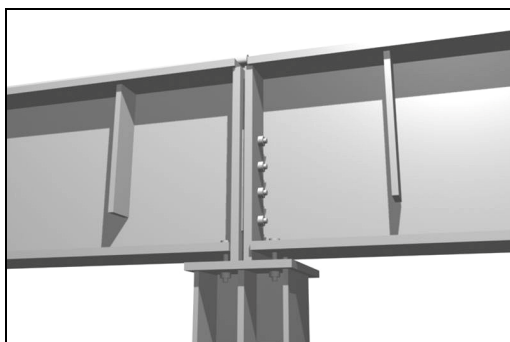


Рис. 18. Опираие разрезных подкрановых балок на стальные колонны через опорное ребро

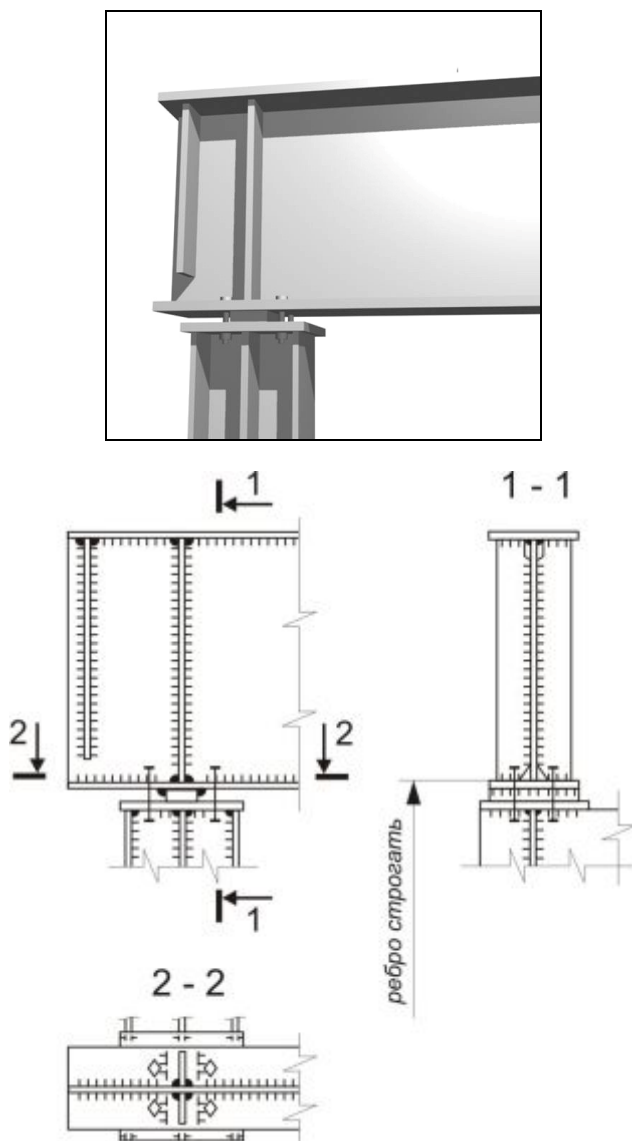


Рис. 19. Опираие концевой (температурной) подкрановой балки на стальную колонну

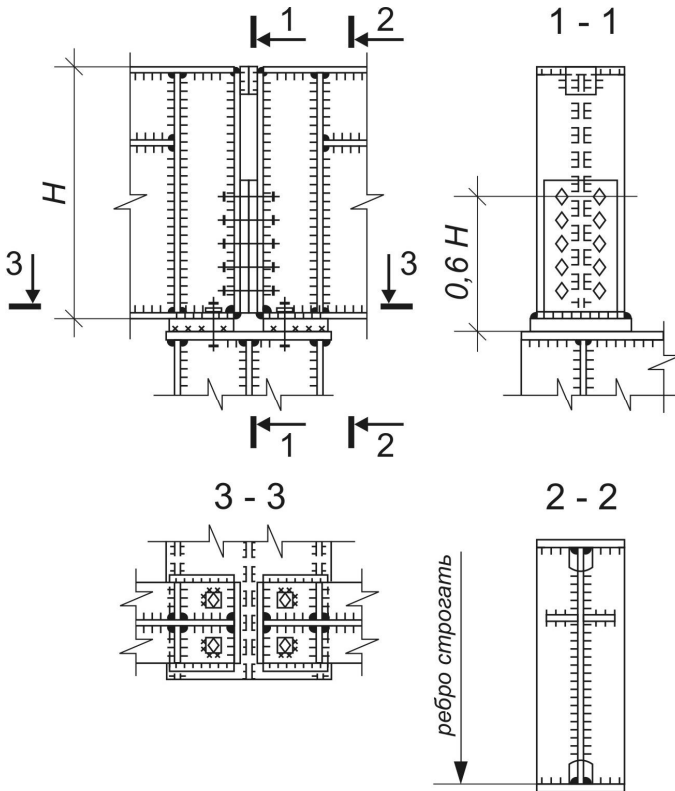
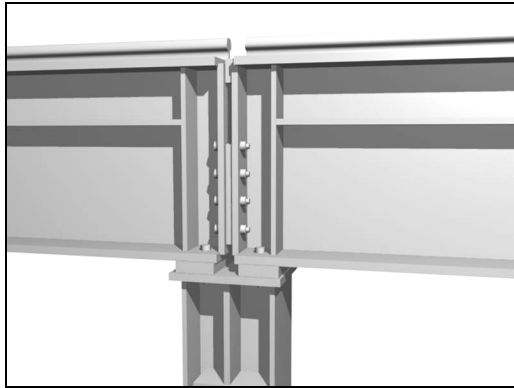


Рис. 20. Опираение подкрановых балок через плиту на стальную колонну

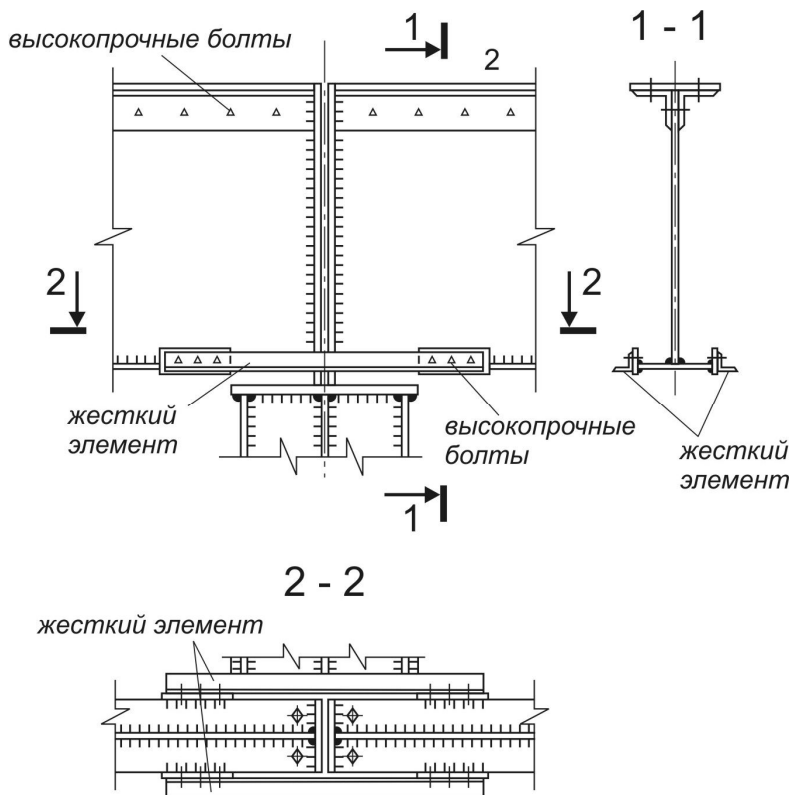
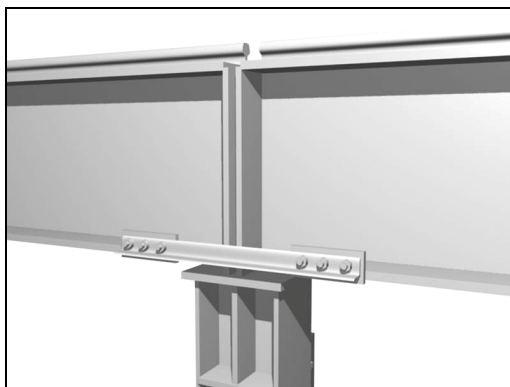


Рис. 21. Соединение разрезных балок жестким элементом

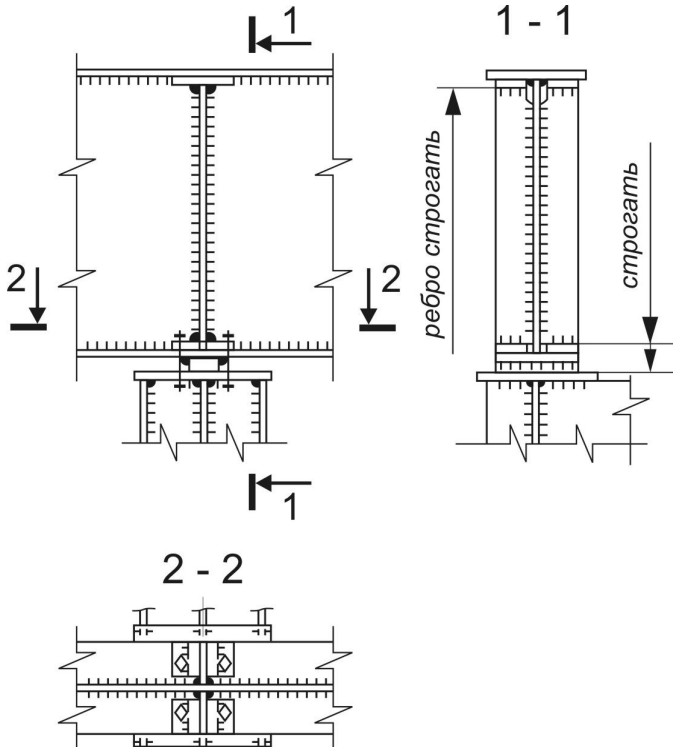
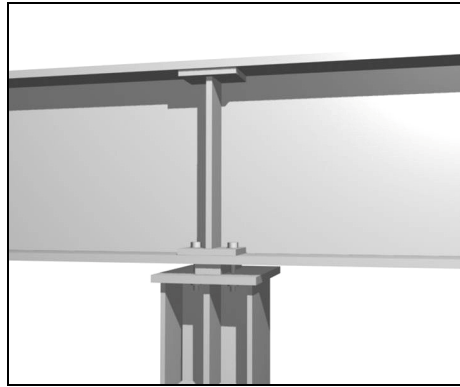


Рис. 22. Опираение неразрезной подкрановой балки на стальную колонну

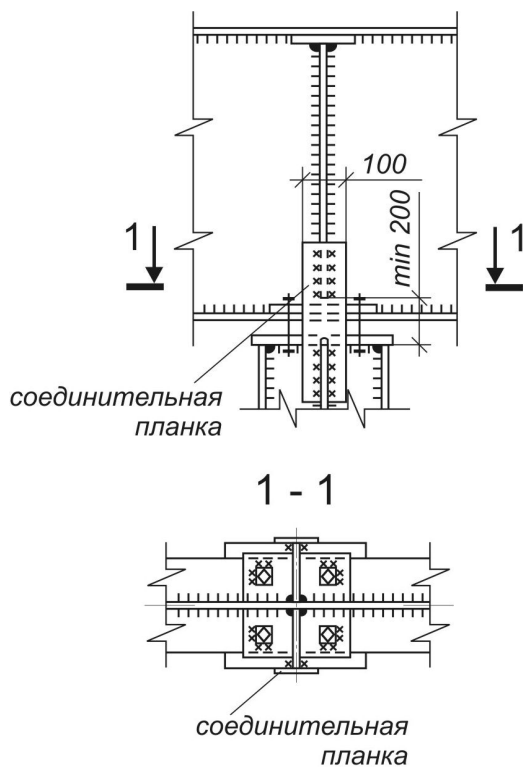
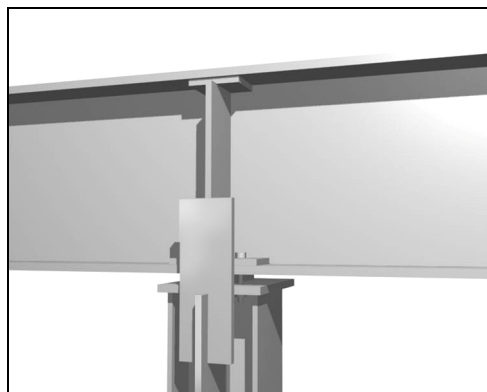


Рис. 23. Опираение неразрезной подкрановой балки на стальную колонну при наличии отрывающих усилий

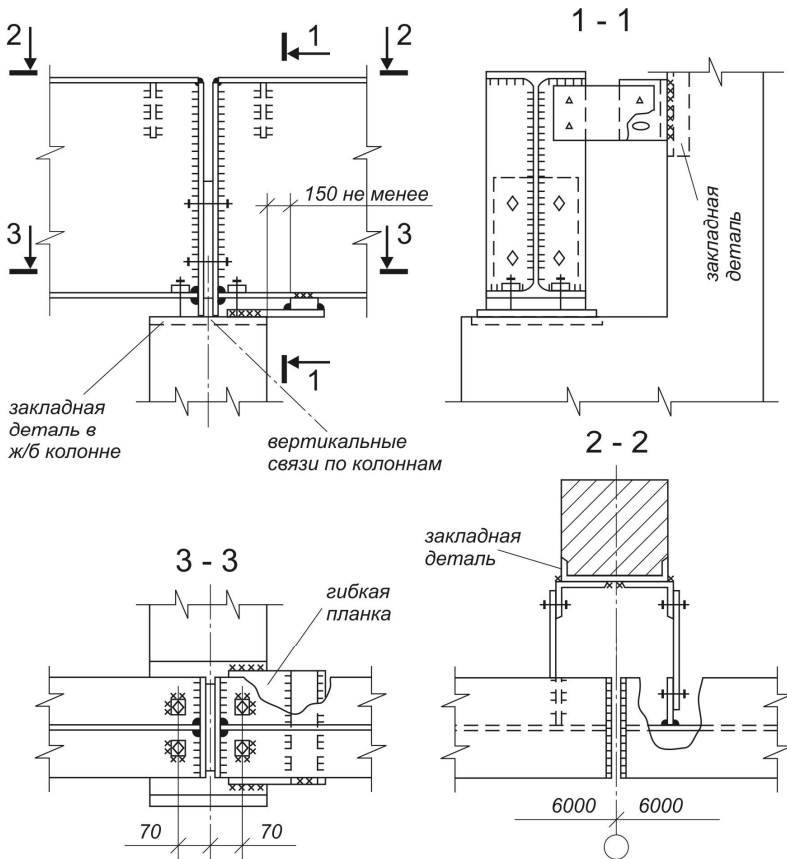
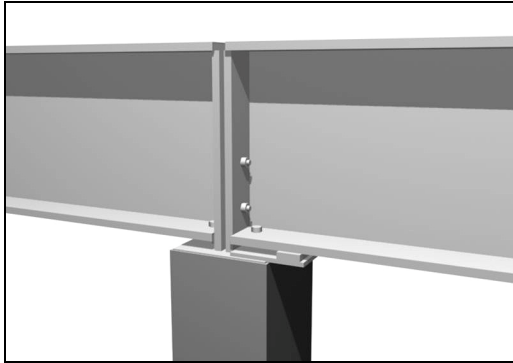


Рис. 24. Опирание разрезных балок на железобетонную колонну

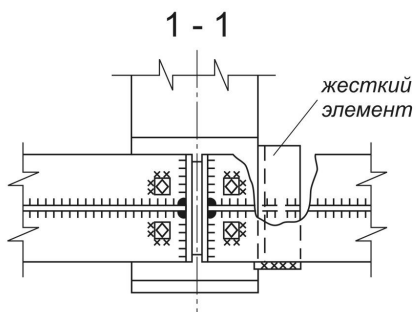
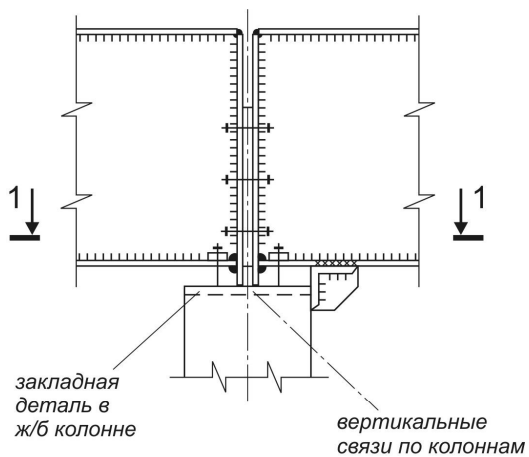
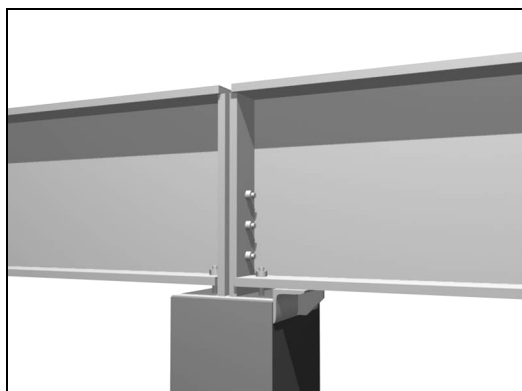


Рис. 25. Опирание разрезных балок на колонну
в связевой панели

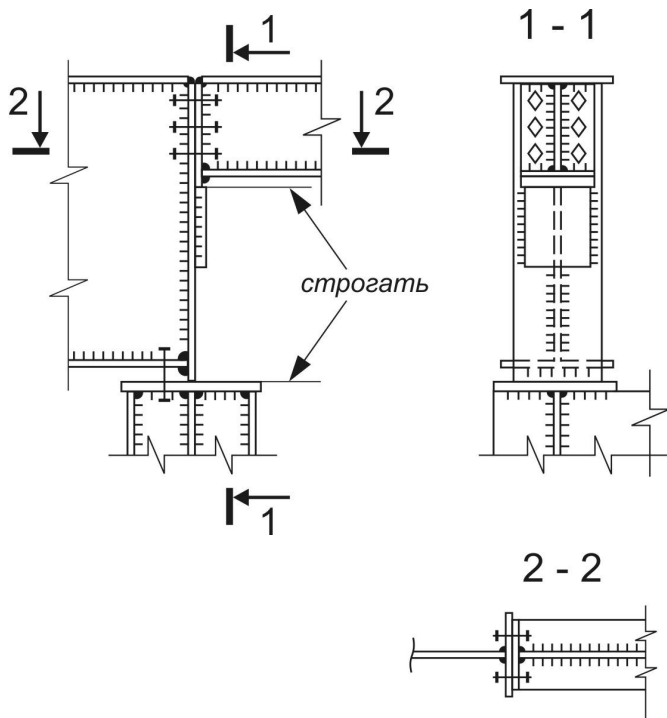
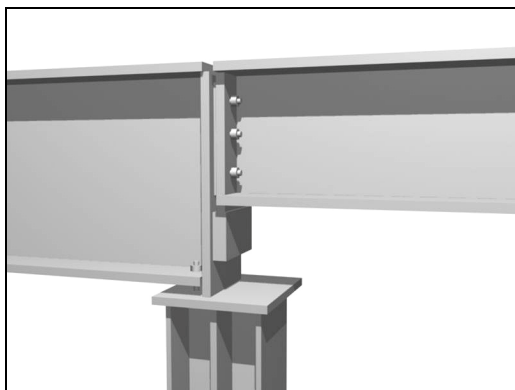


Рис. 26. Опираение балок разной высоты на колонну через опорный столик

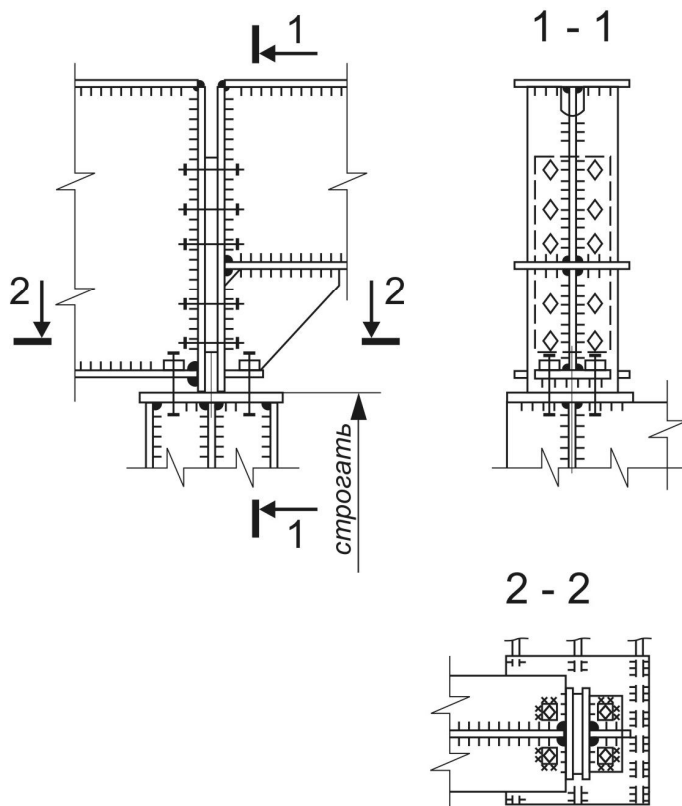
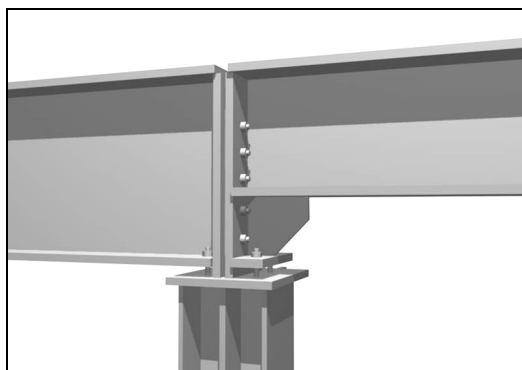


Рис. 27. Опирание балок разной высоты на колонну через опорное ребро

2.4. Тормозные конструкции. Связи

Для восприятия горизонтальных воздействий, возникающих вследствие торможения тележки с грузом, перекосов моста крана в целом или отдельных его катков, не параллельности крановых путей, предназначены тормозные конструкции (балки или фермы).

Тормозные конструкции рекомендуется проектировать:

- при кранах грузоподъемностью до 80 т и пролете балок 12 м и более решетчатыми;
- при кранах грузоподъемностью 100 т и выше, а также в зданиях с кранами групп режимов работы 6К–8К независимо от их грузоподъемности и в зданиях, где согласно правилам Госгортехнадзора требуются проходы вдоль подкрановых путей, сплошными в виде тормозных балок;
- в зданиях, возводимых в районах с расчетной зимней температурой $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, сплошного сечения.

В зданиях с кранами групп режимов работы 1К–3К грузоподъемностью до 50 т и пролете балок 6 м при отсутствии проходов вдоль подкрановых путей для восприятия горизонтальных поперечных усилий необходимо и достаточно развить сечение верхнего пояса балки.

В подкрановых конструкциях, располагаемых вдоль колонн крайних рядов поясами тормозной балки (фермы) являются верхний пояс подкрановой балки и специальный наружный пояс (обычно из одного швеллера) (рис. 28, а). Пояса тормозной балки соединяют в решетчатых балок решеткой (рис. 28, б), в случае сплошных балок – листом (рис. 28, в).

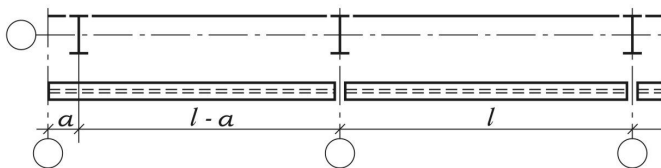
При расположении подкрановых балок вдоль колонн средних рядов (рис. 29) поясами тормозных балок служат верхние пояса подкрановых балок, соединенные между собой решеткой или листом.

Решетку тормозных балок рекомендуется проектировать треугольной с дополнительными стойками (рис. 28, б и 29, б). Угол наклона раскосов к поясу назначают в пределах $35\text{--}40^{\circ}$. Фасонки тормозных ферм приваривают двумя продольными швами.

Стенки тормозных балок выполняют из рифленого настила, подкрепленного ребрами жесткости из полосовой стали, располагаемыми примерно через 1,5 м по длине балки. Ширину ребер жесткости необходимо принимать не менее 65 мм, толщину – не менее 6 мм. Крепление листов к подкрановым балкам и колоннам выполняют сплошными швами. Вырезы в листах тормозных балок в местах пропуска лестниц, трубопроводов и т.п. окаймляют ребрами из полосы или уголков. Примеры сопряжений разрезных подкрановых конструкций в уровне верхнего пояса с колоннами показаны на рис. 30–34, неразрезных на рис. 35.

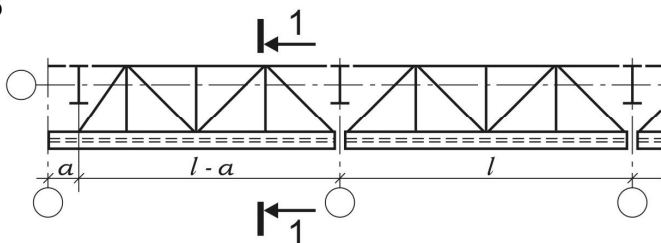
без тормозных конструкций

а



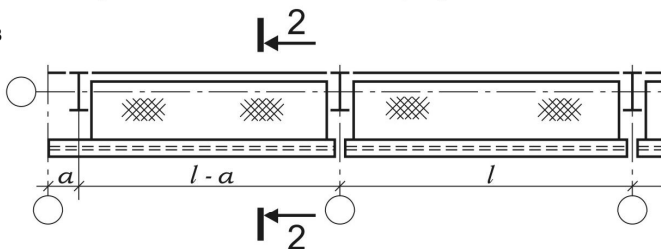
с тормозными фермами

б



с тормозными балками из рифленого настила

в



$l = 6 \text{ м}$

$l = 12 \text{ м}$

1 - 1

2 - 2

1 - 1

2 - 2

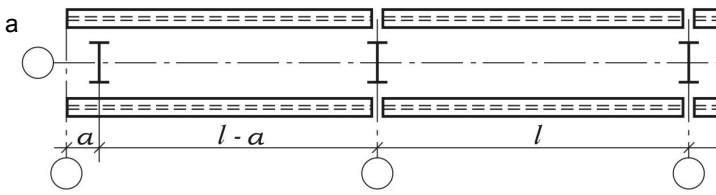
вспомогательная
балка-швеллер

горизонтальные
связи

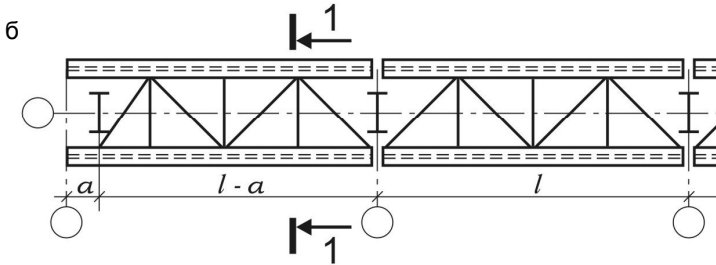
вспомогательная
вертикальная
ферма

Рис. 28. Подкрановые конструкции по крайним рядам колонн

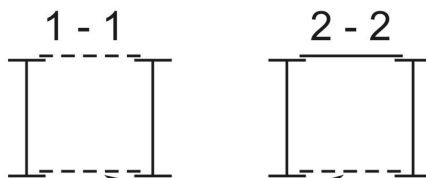
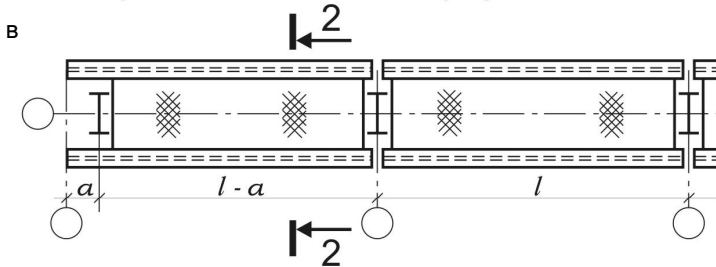
без тормозных конструкций



с тормозными фермами

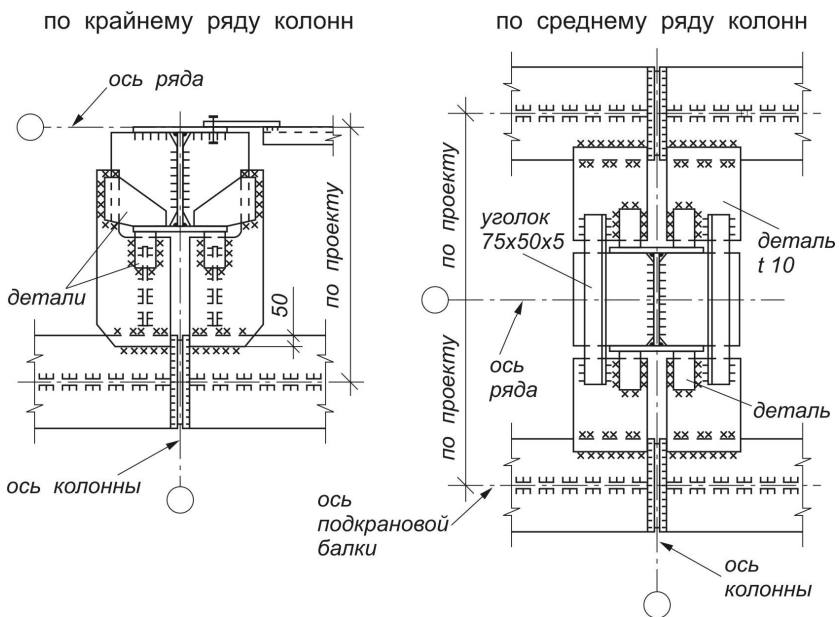


с тормозными балками из рифленого настила



горизонтальные связи
при $l = 12$ м и более

Рис. 29. Подкрановые конструкции по средним рядам колонн



установка деталей

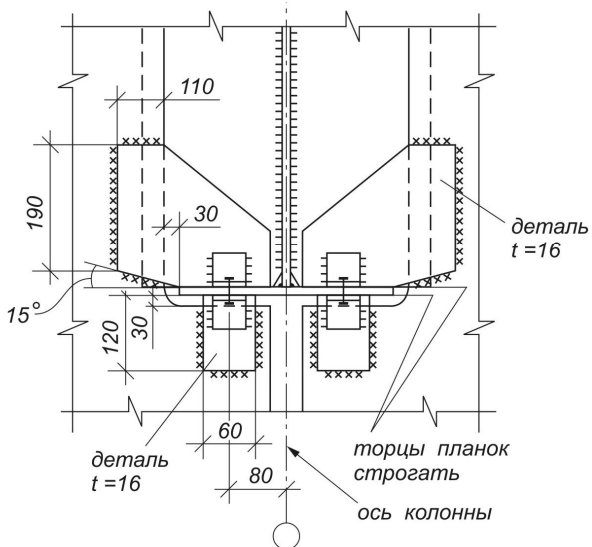


Рис. 30. Сопряжение разрезных подкрановых балок с колонной без тормозных конструкций

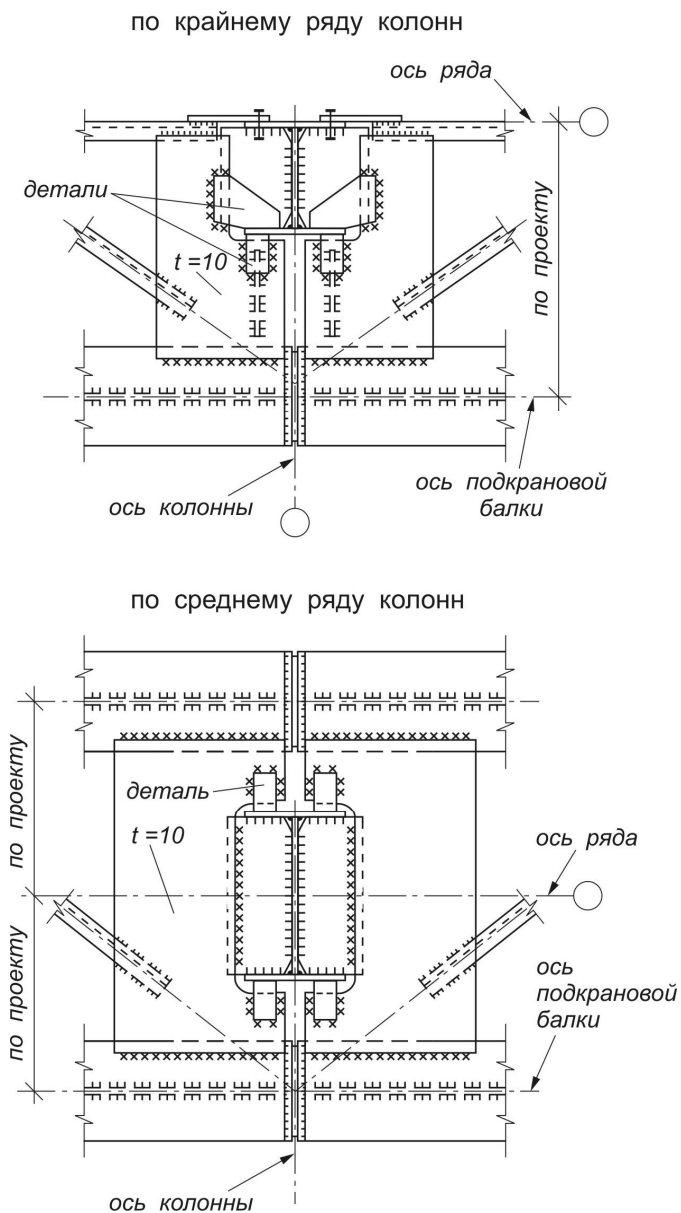


Рис. 31. Сопряжение разрезных подкрановых конструкций в уровне верхнего пояса при тормозных фермах

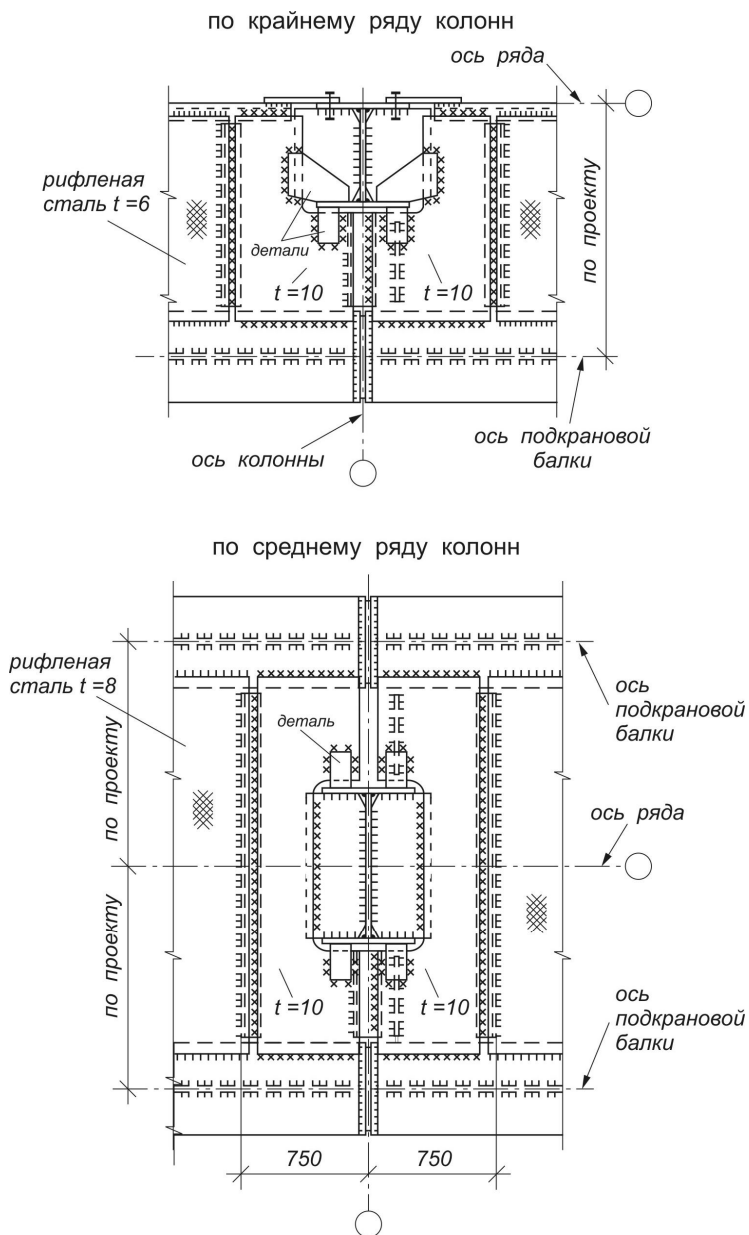


Рис. 32. Сопряжение разрезных подкрановых конструкций в уровне верхнего пояса при тормозной балке

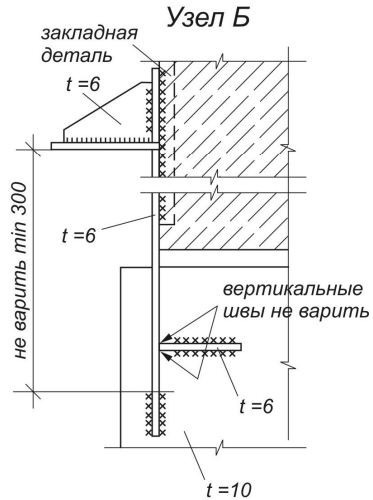
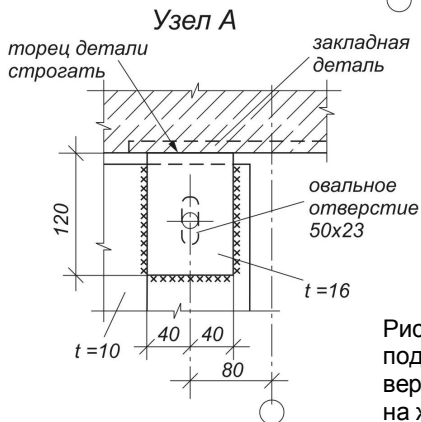
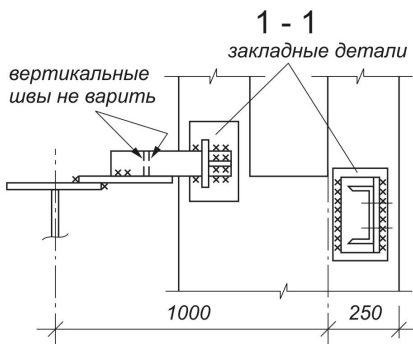
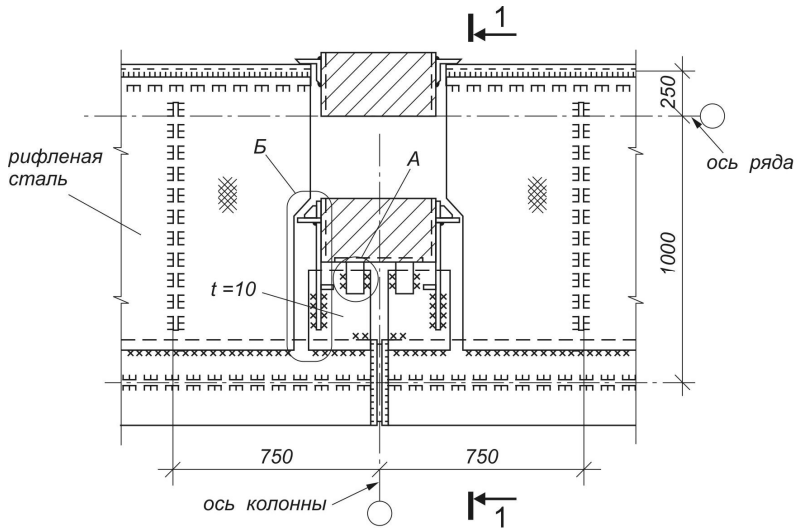


Рис. 33. Сопряжение разрезных подкрановых конструкций в уровне верхнего пояса при тормозной балке на ж/б колонне

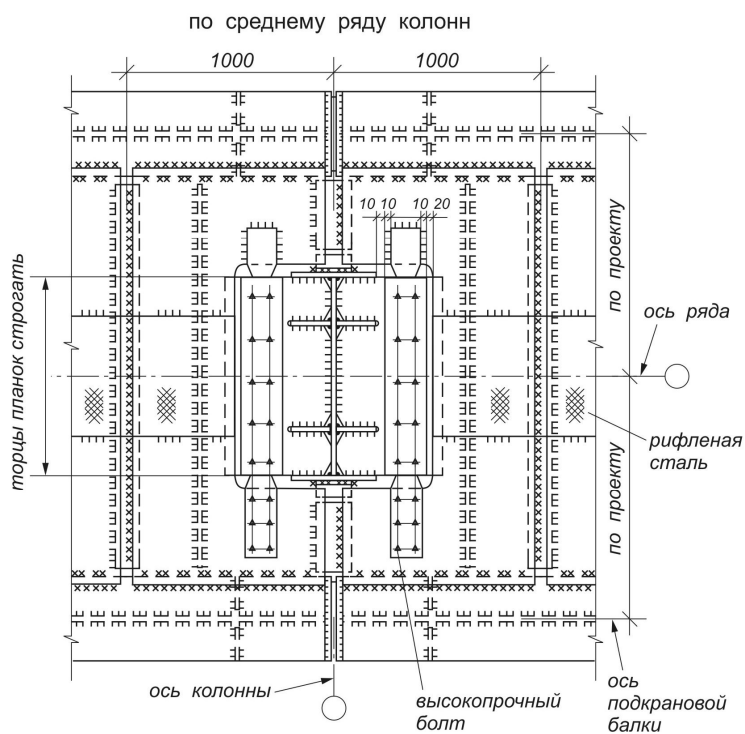
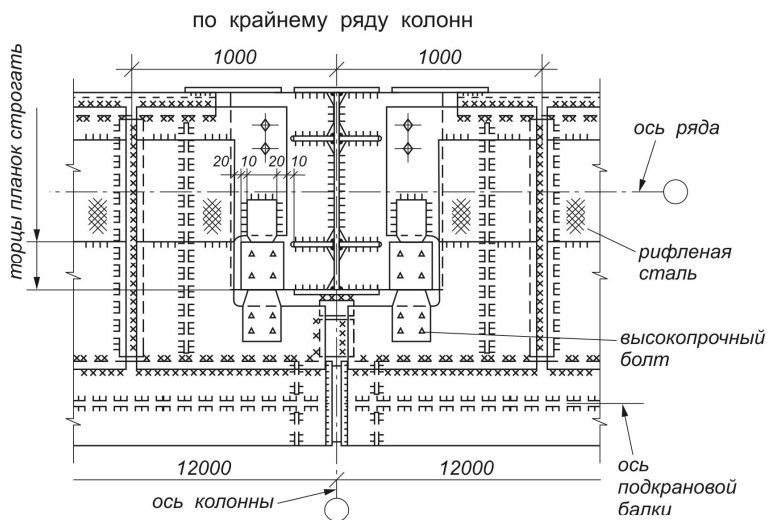


Рис. 34. Сопряжение разрезных подкрановых конструкций при кранах с режимом работы 7К–8К

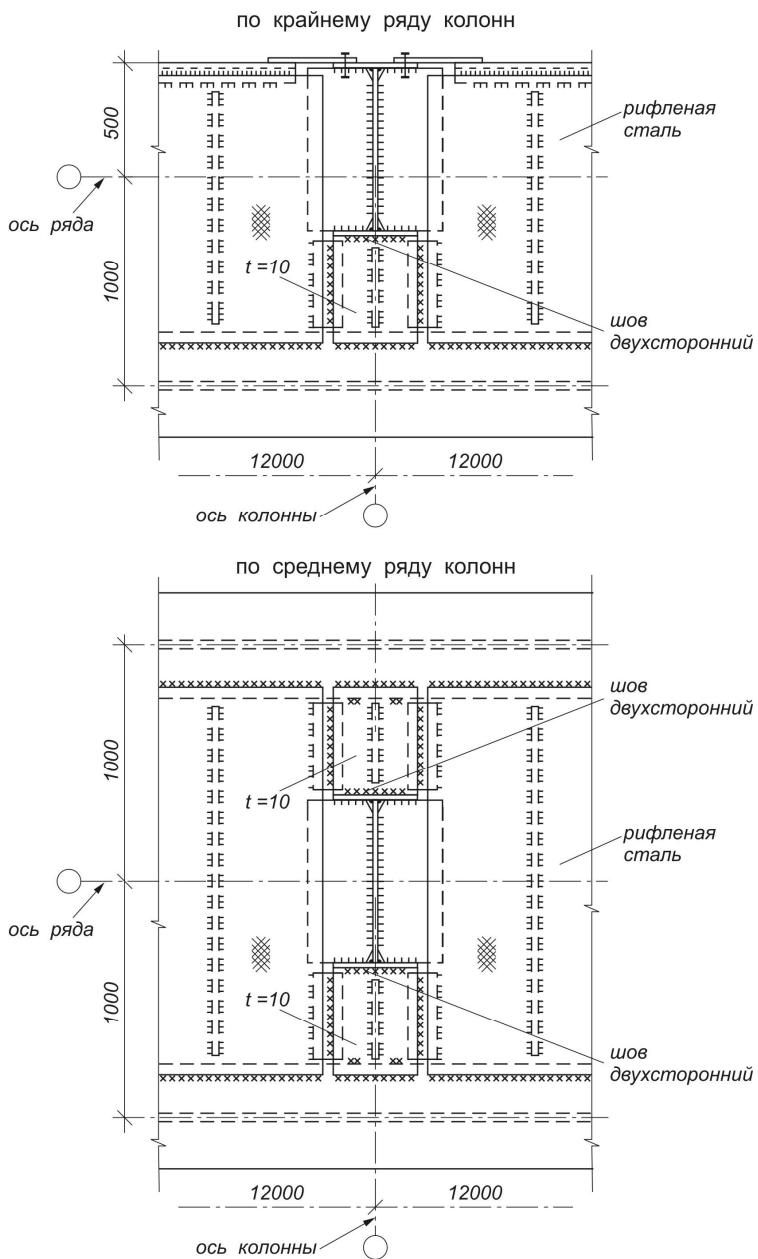


Рис. 35. Сопряжение неразрезных подкрановых конструкций с колонной в уровне верхнего пояса балки

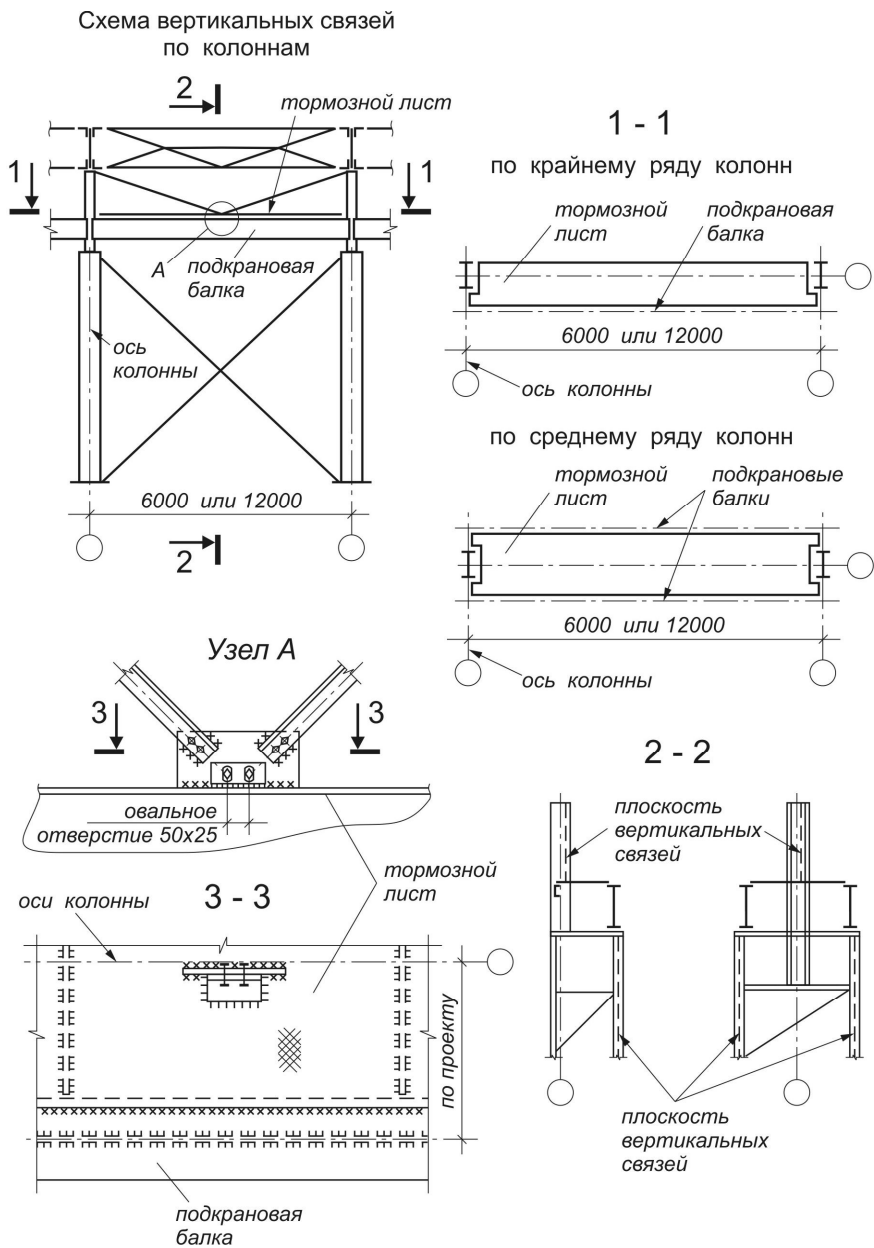


Рис. 36. Крепление вертикальных связей по колоннам к тормозному листу

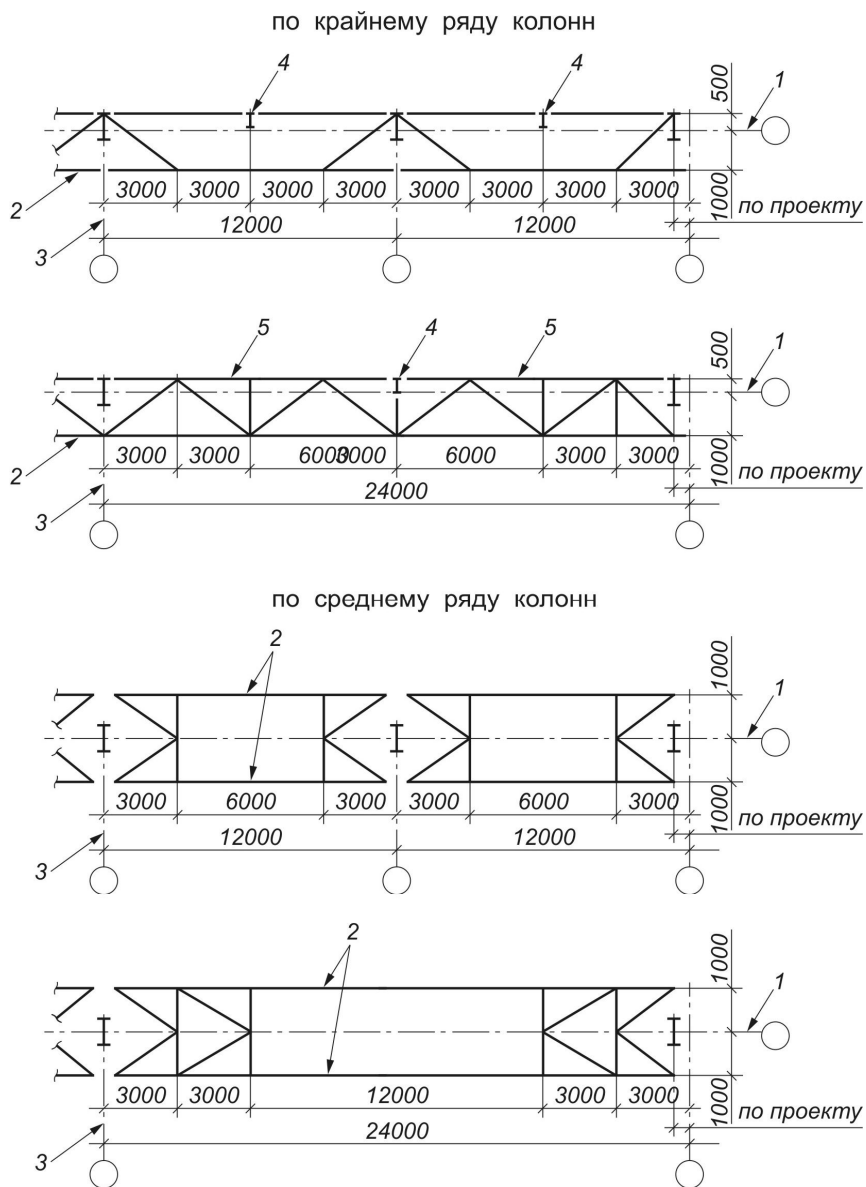
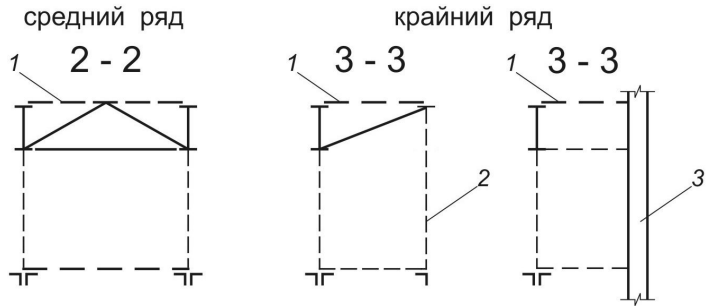
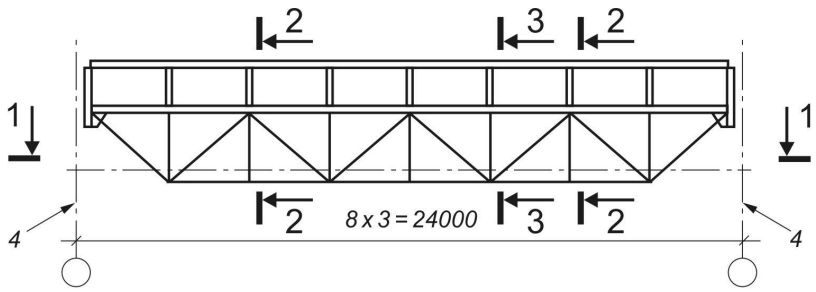
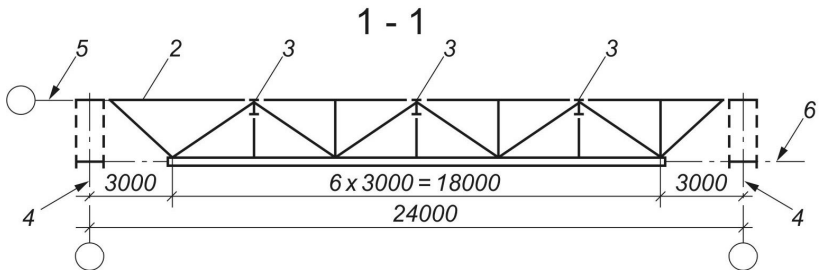


Рис. 37. Связи по нижним поясам подкрановых балок:
 1 – ось ряда; 2 – подкрановые балки; 3 – оси колонн;
 4 – стойка фахверка; 5 – вспомогательная ферма



по крайнему ряду колонн



по среднему ряду колонн

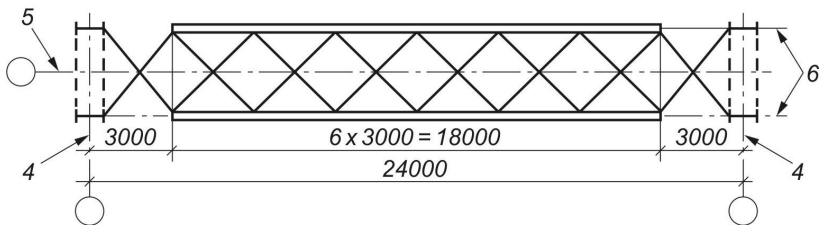


Рис. 38. Связи по подкрановым фермам:

1 – тормозная ферма; 2 – вспомогательная ферма; 3 – стойка фахверка;
4 – ось колонны; 5 – ось ряда; 6 – ось подкрановой фермы

Конструкция креплений разрезных подкрановых конструкций к колоннам в уровне верхнего пояса должна обеспечивать передачу тормозных и распорных воздействий кранов, а также свободу перемещений верха балок вдоль их осей. При шаге колонн крайнего ряда 12 м и более стойки фахверка необходимо крепить к тормозным конструкциям.

Передачу сил продольного торможения кранов и ветровой нагрузки с торца здания осуществляют в связевой панели (рис. 36). Для этого, независимо от конструктивного решения тормозных конструкций и даже при их отсутствии (при пролетах балок 6 м), в связевой панели устанавливают сплошной лист, к которому прикрепляют надкрановые связи (узел А на рис. 36).

В зданиях с группой режима работы кранов 6К–8К при пролете балок 12 м и более необходимо проектировать горизонтальные связи по нижним поясам балок (рис. 37). Развязка нижних поясов балок требуется (независимо от группы режима работы крана и пролета балок), если их гибкость превышает 150. Вертикальные связи по балкам следует предусматривать при блочном методе монтажа подкрановых конструкций или в случае, когда необходимо обеспечить пространственную работу подкрановых конструкций. Схемы расположения горизонтальных связей по нижним поясам подкрановых ферм и вертикальных связей приведены на рис. 38.

2.5. Крановые рельсы и их крепления. Упоры

Для подкрановых путей под мостовые краны применяются специальные рельсы по ГОСТ 4121-76* или железнодорожные по ГОСТ 7153-54*, ГОСТ 7174-75*. Рекомендуемые типы рельсов в зависимости от величины давления на ходовое колесо крана приведены в табл. 4.

Крепление рельсов к подкрановым путям выполняют несколькими способами:

- железнодорожные рельсы крепят при помощи крюков из круглых стержней диаметром 24 мм; крюки проходят через отверстия в стенке рельса и зацепляют кромки верхнего пояса подкрановой балки (рис. 39);
- специальные крановые рельсы в соответствии с ГОСТ 24741-81 крепят с помощью планок с подкладками; планки имеют круглые отверстия и соединяются с балкой болтами диаметром 24 мм, подкладки имеют овальные вырезы, позволяющие рихтовать рельс; после рихтовки рельсов плотно прижатые к ним подкладки приваривают к планкам (рис. 40);
- крепление специальных крановых рельсов может также выполняться скобами, соединяемыми с фигурными планками высокопрочными болтами и клиньями (рис. 41);

- для кранов группы режима работы 7К, 8К крепление рельса возможно с установкой под него подкладок с выпуклой цилиндрической поверхностью, контактирующей с верхним поясом балки в пределах толщины стенки; расстояние между крюками и планками принимается 750 мм (рис. 42).

Таблица 4

Типы крановых рельсов в зависимости от нагрузки
на ходовые колеса

Группы режимов работы кранов	Давление на ходовое колесо, кН	Тип рельса	
		железнодорожный	специальный
1К–3К	До 50 включ.	Р43	квадрат 50
4К–6К	До 300 включ.	Р43	КР70
	Св. 300 до 400 включ.	Р50	КР70
	Св. 400	–	КР80
7К–8К	До 200 включ.	Р43	КР70
	Св. 200 до 350 включ.	Р50	КР70
	Св. 350 до 500 включ.	–	КР100
	Св. 500 до 800 включ.	–	КР120
	Св. 800	–	КР140

Конструкция стыков рельсов должна обеспечивать плавный переход колес на стыкуемых участках пути. Рекомендуемые конструкции промежуточных стыков показаны на рис. 43.

В зданиях с группой режима работы кранов 7К, 8К применяют сварные стыки рельсов. При этом стыки необходимо располагать на расстоянии не менее 1500 мм от оси колонны, а расстояние между стыками должно быть не менее 6 м.

Конструкции температурных стыков железнодорожных и специальных крановых рельсов, располагаемых в местах температурных швов, приведены на рис. 44.

Упоры для кранов устраивают по концам подкранового пути для фиксации предельного положения кранов. Их располагают в соответствии с технологическим заданием. Для смягчения возможных ударов к передней части упора необходимо крепить деревянный брус на уровне буферов кранового моста (рис. 45). В зданиях с кранами групп режимов работы 7К, 8К, кранами грузоподъемностью свыше 100 т, кранами с жестким подвесом груза рекомендуется взамен деревянных брусков устанавливать пружинные буфера железнодорожного типа.

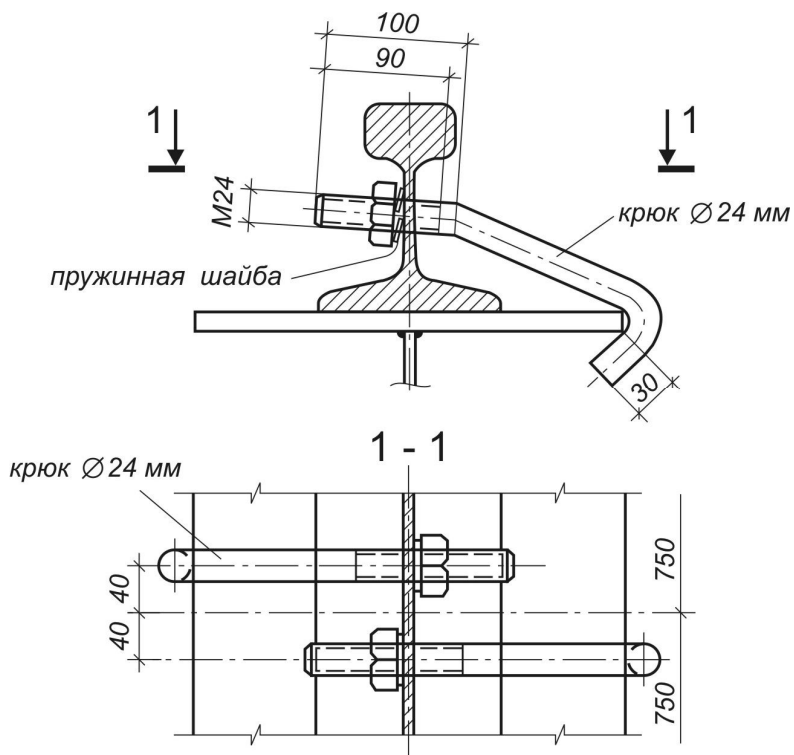
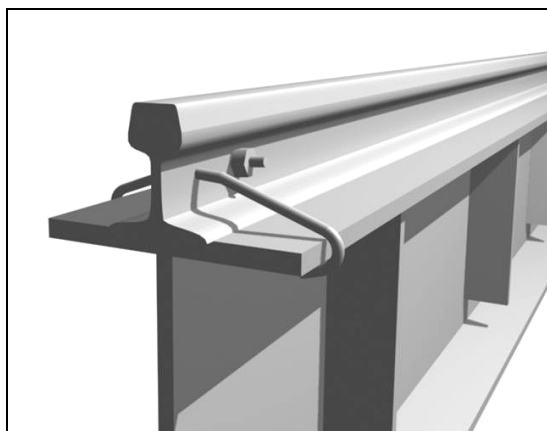


Рис. 39. Крепление железнодорожного рельса крючьями к верхнему поясу подкрановой балки

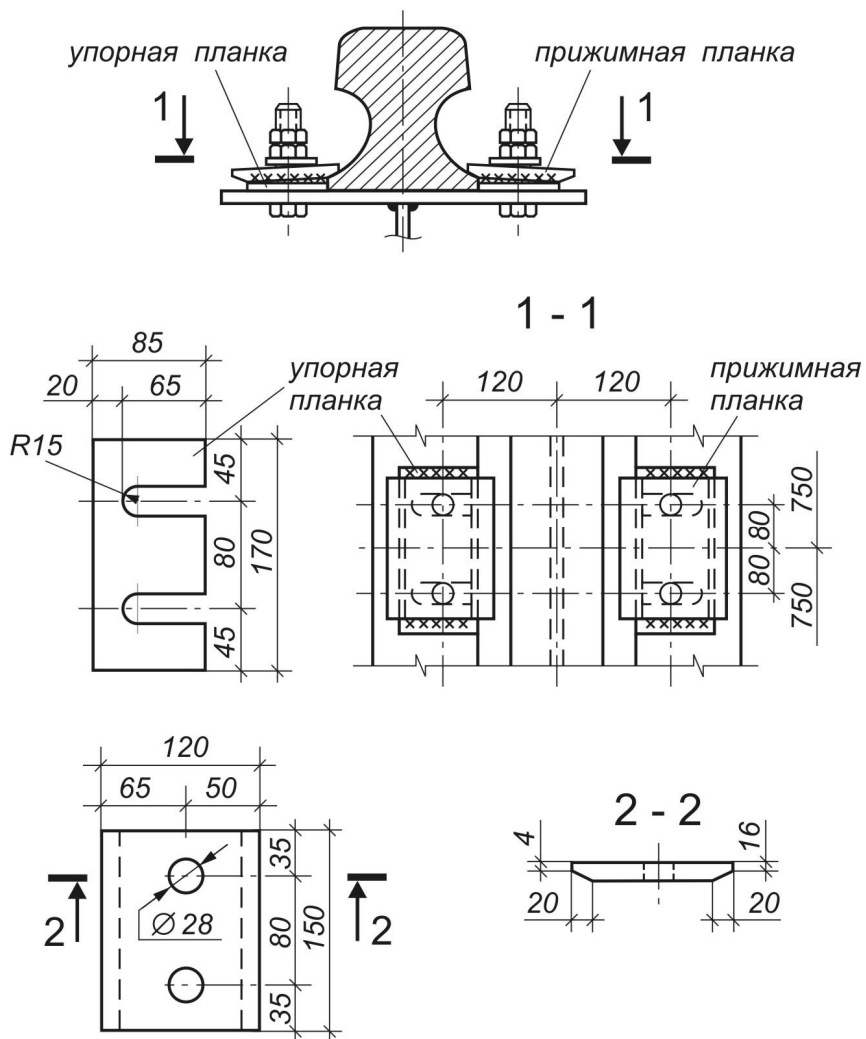
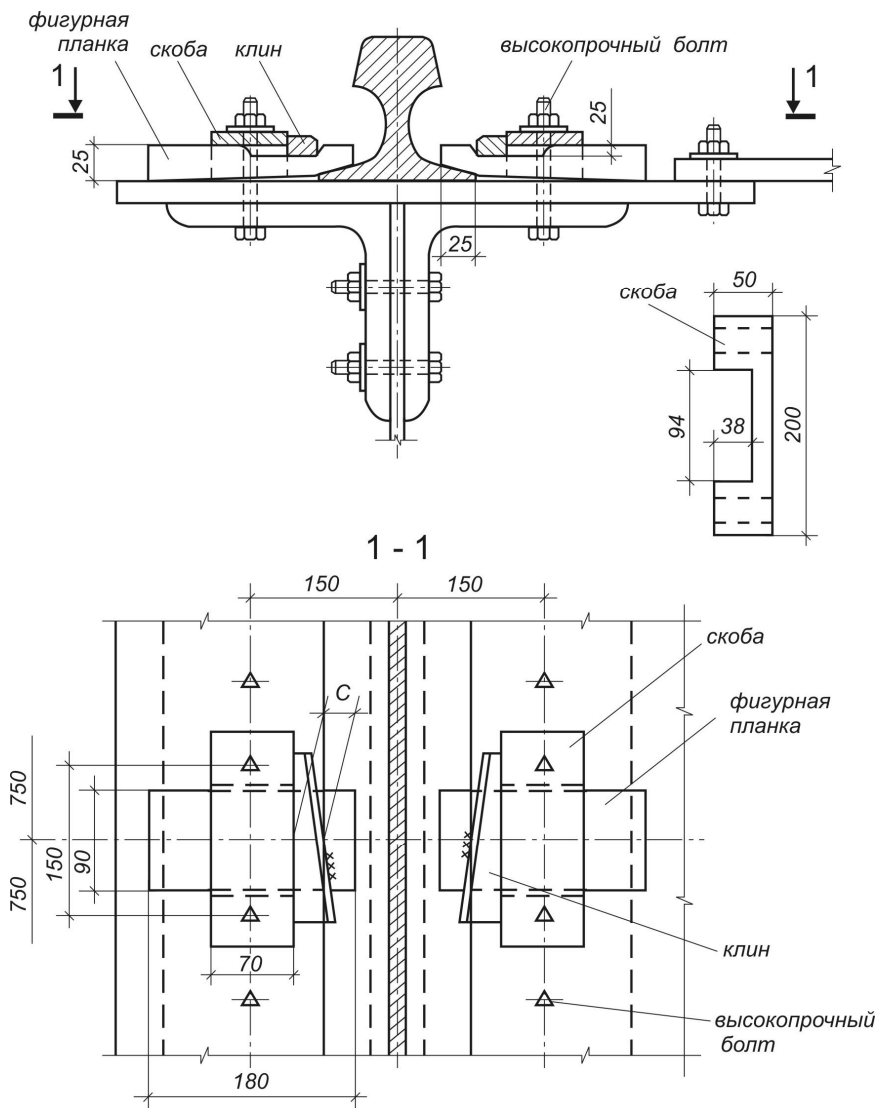


Рис. 40. Крепление кранового рельса планками к верхнему поясу подкрановой балки



Возможная рихтовка пути ± 20 мм при следующем наборе клиньев:

Номер клина	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Размер С, мм	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Рис. 41. Крепление кранового рельса с помощью скоб

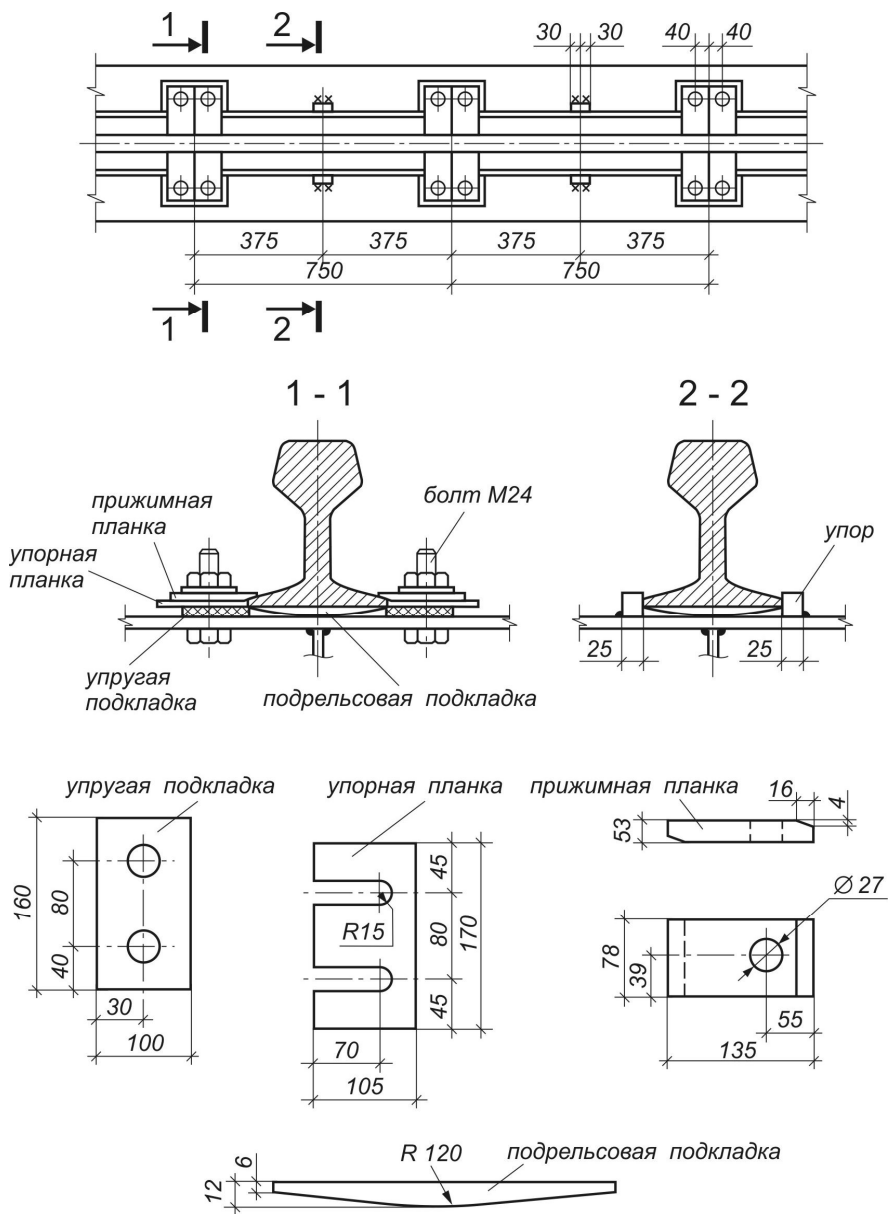


Рис. 42. Крепление кранового рельса с подкладкой

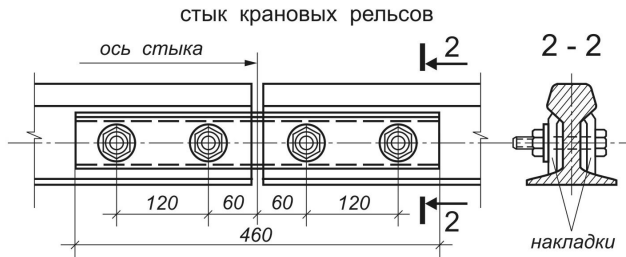
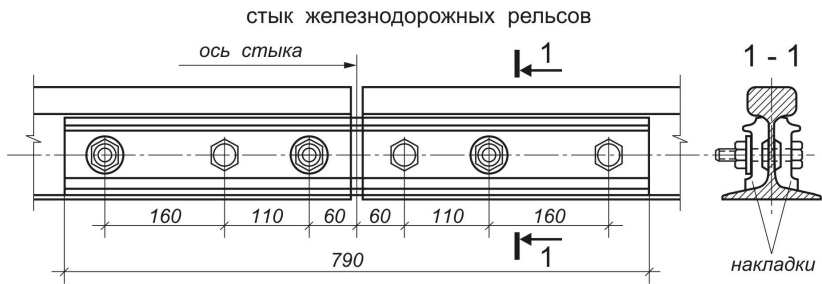


Рис. 43. Стыки рельсов

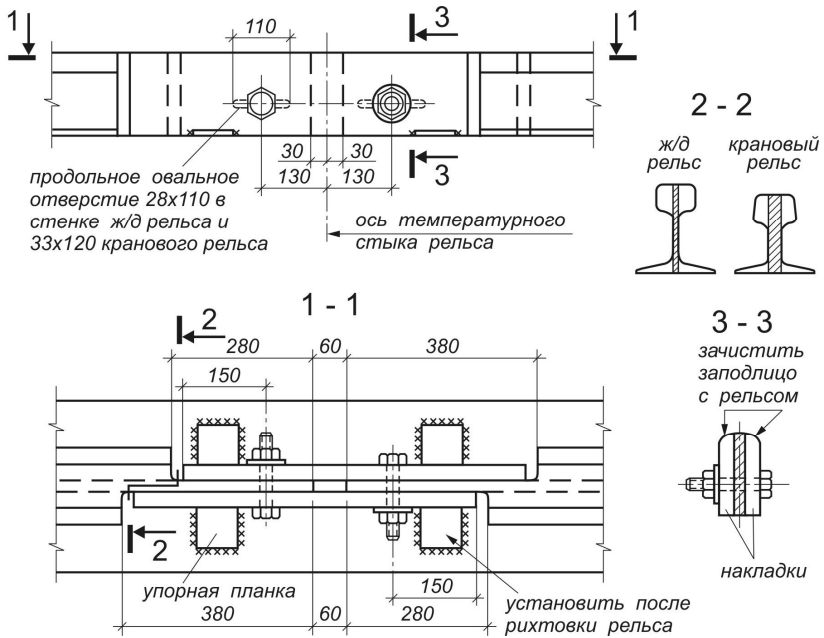
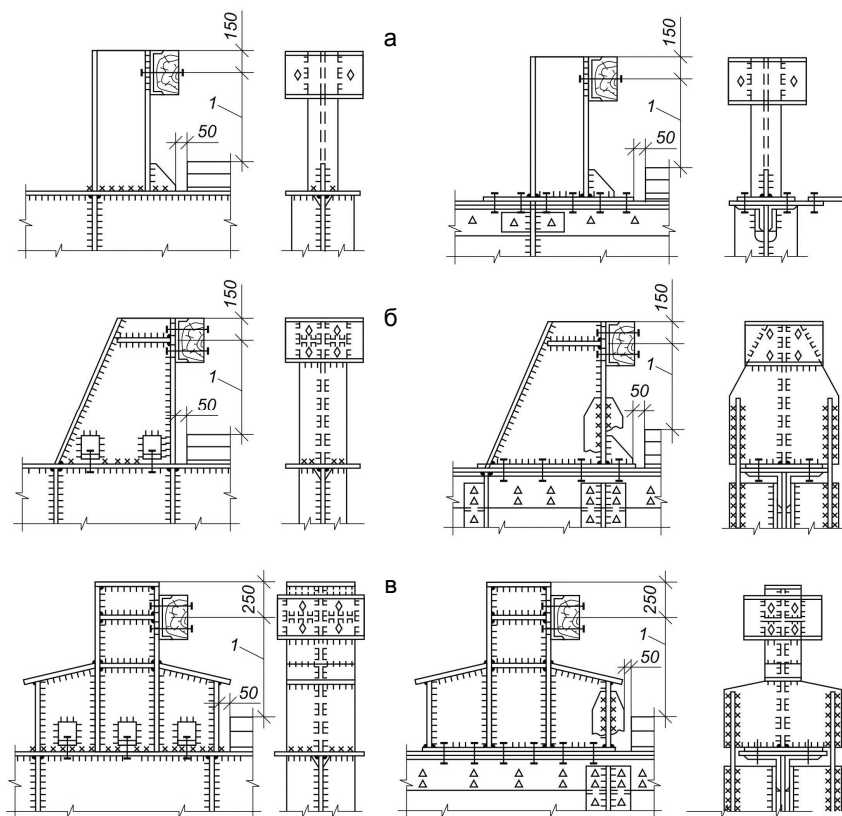
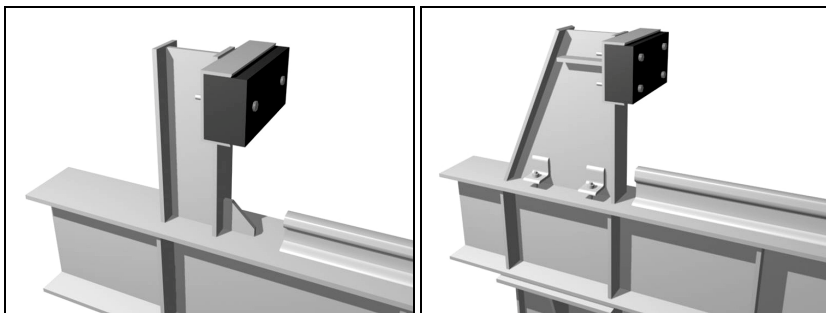


Рис. 44. Температурные стыки рельсов



для сварных балок

для балок на высокопрочных болтах

Рис. 45. Упоры для кранов разной грузоподъемности:
 а – до 30 т (режим 7К) и до 50 т (режим 1К–6К); б – до 250 т;
 в – более 250 т; 1 – размер, по данным завода-изготовителя

3. РЕШЕТЧАТЫЕ ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ (ФЕРМЫ)

Решетчатые подкрановые балки могут быть выполнены в виде подкрановой фермы (см. рис. 3, б), подкраново-подстропильной фермы (см. рис. 3, в).

Подкрановые фермы экономически целесообразны в зданиях с кранами групп режимов работы 1К–5К грузоподъемностью менее 30 т и пролетом ферм более 12 м.

Подкрановые фермы проектируют с параллельными поясами треугольной решеткой с дополнительными стойками (см. рис. 3, б). Высоту ферм следует назначать при пролетах 12–18 м в пределах 1/5–1/7 пролета, при пролетах 24–36 м, 1/7–1/10 (меньшие величины относятся к большим пролетам ферм). Длину панели подкрановой фермы рационально назначать приблизительно равной высоте фермы, но не более 3 м, с тем чтобы верхний пояс можно было выполнить из широкополочного или обычного двутавра. Поскольку верхний пояс дополнительно воспринимает местный момент от внеузловой передачи нагрузки от колеса крана, высоту его сечения необходимо назначать не менее 1/5–1/7 длины панели d . Решетку ферм выполняют из спаренных уголков, нижний пояс – из тавров или спаренных уголков. Решетку подкрановых ферм центрируют, как правило, на нижнюю кромку верхнего пояса. В узлах примыкания решетки к верхнему поясу стенку пояса следует укреплять ребрами жесткости.

Расчетная схема подкрановой фермы представляет собой $n-1$ статически неопределимую систему (ферму с жестким верхним поясом), где n – число панелей верхнего пояса. Статический расчет фермы следует выполнять на ЭВМ.

По расчетным усилиям подбирают сечения элементов и проверяют их несущую способность.

Верхний пояс фермы работает на сжатие с изгибом в двух плоскостях. Решающей является проверка устойчивости, которую можно провести по приближенным формулам:

при сплошной тормозной балке

$$\frac{N}{\varphi_x A_f} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_{y1}} \leq R_y \gamma_c; \quad (32)$$

при тормозной ферме

$$\frac{N + N_T}{\varphi_{\min} A_f} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_{my}}{W_{y2}} \leq R_y \gamma_c, \quad (33)$$

где N – продольная сила в верхнем поясе от вертикальной нагрузки; $N_T = M_y/h_T$ – продольная сила в верхнем поясе от горизонтальной нагрузки (h_T – высота тормозной фермы); M_x, M_y – изгибающие моменты от вертикальной и горизонтальной нагрузок; $M_{xy} = 0,9(T_k d/4)$ – местный изгибающий момент в панели верхнего пояса фермы от горизонтального усилия на колесе T_k ; W_x – момент сопротивления верхнего пояса относительно оси $x-x$; W_{y1} – момент сопротивления тормозной балки относительно оси $y-y$ (в расчетное сечение тормозной балки включается только полка верхнего пояса фермы) (рис. 46, а); W_{y2} – момент сопротивления полки верхнего пояса балки относительно вертикальной оси (рис. 46, б); φ_x – коэффициент продольного изгиба верхнего пояса, определяемый в зависимости от $\lambda_x = d/l_x$; φ_{\min} – меньший из коэффициентов продольного изгиба $\varphi_x = f(\lambda_x)$ и $\varphi_y = f(\lambda_y)$.

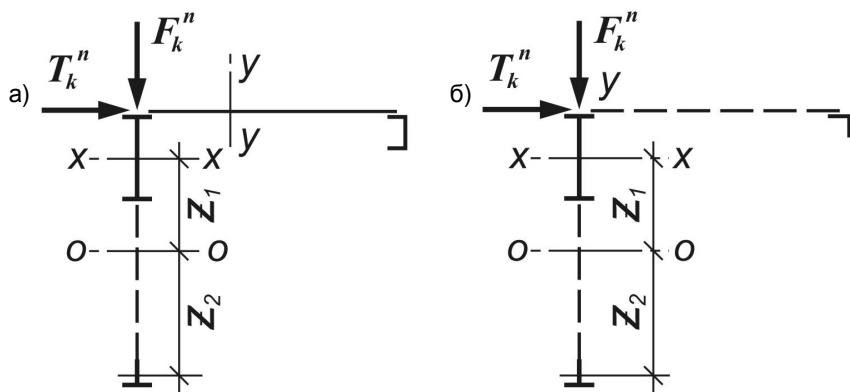


Рис. 46. К расчету подкрановых ферм:

а – с тормозной балкой; б – с тормозной фермой

Все характеристики определяются без учета ослабления сечения отверстиями для болтов.

Нижний пояс и решетка подкрановой фермы работают и рассчитываются на центральное сжатие или растяжение.

Расчетные длины стержней подкрановых ферм определяют так же, как и для обычных ферм.

Прогиб подкрановой фермы от нормативной нагрузки может быть определен по приближенной формуле

$$f = \frac{\mu M_n l^2}{10 E I_\phi}, \quad (34)$$

где μ – коэффициент, принимаемый равным: 1,4 – при отношении высоты фермы к пролету $h_\phi/l=1/6$; 1,3 – при $h_\phi/l=1/8$ (в промежутке по интерполяции); I_ϕ – момент инерции фермы; $I_\phi=A_{f1}z_1^2+A_{f2}z_2^2$; A_{f1} , A_{f2} – площади сечений верхнего и нижнего поясов фермы; z_1 , z_2 – расстояния от центров тяжести сечений поясов до общего центра тяжести.

При проверке усталостной прочности подкрановых ферм необходимо учитывать повышенную концентрацию напряжений в узлах крепления решетчатой фермы.

Подкраново-подстропильные фермы (ППФ) целесообразно применять при пролетах 24 м и более и тяжелых кранах. Подкраново-подстропильная ферма воспринимает нагрузку от кранов и от стропильных ферм. Благодаря использованию принципов совмещения функций, концентрации материала, возможности развития по высоте подкраново-подстропильная ферма экономичнее по затратам стали, чем подкрановая балка и подстропильная ферма, выполненные раздельно.

Высота подкраново-подстропильной фермы в осях принимается в пределах 1/6–1/8 от пролета фермы, высота жесткого нижнего пояса – 1/5–1/7 от наибольшей длины панели пояса. Длина панели пояса назначается из условия опирания стропильных ферм и принимается кратной 6 м.

Нижний пояс подкраново-подстропильной фермы представляет собой тонкостенный стержень замкнутого коробчатого сечения. В узлах фермы нижний пояс укрепляют сплошными диафрагмами, между узлами устанавливают сплошные или сквозные диафрагмы на расстоянии $(1,2-1,5)h_m$, но не реже чем через 4 м.

Подкраново-подстропильные фермы по средним рядам колонн рассчитывают на вертикальную нагрузку от четырех кранов (по два крана наибольшей грузоподъемности в каждом пролете) и поперечную горизонтальную нагрузку от двух кранов.

Усилия в элементах подкраново-подстропильных ферм определяют как в комбинированной системе (ферма с жестким нижним поясом).

Проверку прочности нижнего пояса выполняют с учетом всех компонентов напряженного состояния тонкостенного стержня:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x + \frac{B}{I_\omega} \omega \leq R_y \gamma_c, \quad (35)$$

где N – продольное усилие в поясе; M_x – момент от вертикальной нагрузки; M_y – момент от горизонтальных поперечных сил, определяемый как в разрезной балке пролетом l (пролет ППФ); B – бимомент в рассматриваемом сечении от вертикальных и горизонтальных нагрузок; A , I_x , I_y , I_ω – площадь сечения и моменты инерции нижнего пояса; x , y , ω – линейные и секториальная координаты.

Касательные напряжения в поясе определяются также по общей формуле для тонкостенного стержня замкнутого сечения:

$$\tau = \frac{Q_x S_x}{I_x t} + \frac{Q_y S_y}{I_y t} + \frac{M_\omega S_\omega}{I_\omega t} x + \frac{M_{кр}}{2 b h t} \leq R_s \lambda_c, \quad (36)$$

где Q_x , Q_y – поперечные силы в поясе от вертикальной и горизонтальной нагрузок; M_ω – изгибно-крутящий момент; $M_{кр}$ – момент чистого кручения; S_x , S_y , S_ω – статические моменты отсеченной части сечения; h , b – высота сечения пояса и расстояние между осями стенок; t – толщина листа в точке проверки касательных напряжений.

При определении крутящих воздействий M_ω и $M_{кр}$ жесткость решетки можно не учитывать и рассматривать нижний пояс как тонкостенный стержень с пролетом, равным пролету фермы.

В элементах решетки в плоскости, перпендикулярной плоскости фермы, при кручении нижнего пояса возникает дополнительный изгибающий момент $M_{доп}$, который следует учитывать при расчете:

$$M_{доп} = 3 \Theta E I / l, \quad (37)$$

где Θ – угол закручивания пояса в месте примыкания рассматриваемого элемента решетки; I – момент инерции элемента решетки в плоскости действия момента; l – геометрическая длина стержня.

Прогиб подкраново-подстропильной фермы можно определить по формуле (34).

4. ПОДКРАНОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ КОНСОЛЬНЫХ КРАНОВ

В настоящее время подвижные консольные краны не внесены в государственные стандарты и нагрузки от них определяют по технологическим заданиям и по данным завода-изготовителя. Наиболее часто применяют краны грузоподъемностью 1,5; 3; 5; 10 т. Консольные краны имеют два подкрановых пути: горизонтальный и вертикальный. Расчет и конструирование путей практически не отличаются от расчета и конструирования сплошных подкрановых балок под мостовые краны. На рис. 47 показаны примеры крепления подкрановых путей консольного крана к колонне, к блоку подкрановых балок по среднему ряду колонн и к подкраново-подстропильной конструкции.

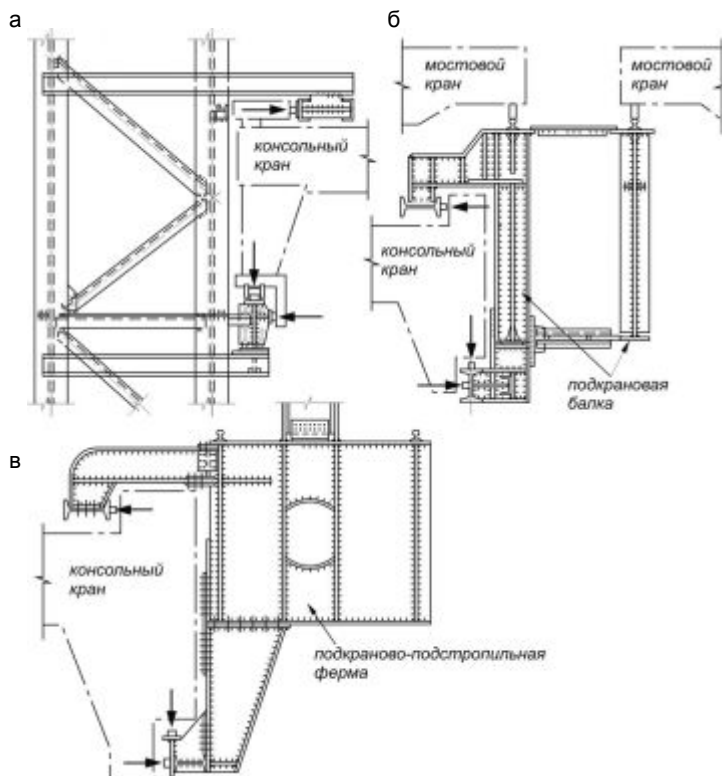


Рис. 47. Крепление консольных кранов:
а – к колонне; б – к блоку подкрановых балок;
в – к подкраново-подстропильной конструкции

5. ПУТИ ПОДВЕСНОГО ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Подвесные пути устраивают в производственных зданиях для передвижения по ним электрических или ручных кранов, талей, кошек. Пути обычно выполняют из прокатных двутавров типа *M* по ГОСТ 19425-74* и по ТУ 14-2-427-80.

Пути подвесного подъемно-транспортного оборудования, как правило, подвешивают к несущим конструкциям покрытия или перекрытия.

Нагрузки на пути подвесного подъемно-транспортного оборудования принимают в соответствии с технологическими заданиями по данным стандартов и нормалей заводов-изготовителей оборудования.

Особенности проектирования балок путей подвесных кранов

Балки крановых путей подвешивают к конструкциям покрытия или перекрытия по разрезной или неразрезной схемам. Разрезная схема проста в монтаже, но жесткость путей по сравнению с неразрезной схемой меньше и в стыках балок возникают динамические воздействия, изгибающие моменты в разрезной балке на 15–20% больше, чем в неразрезной. Поэтому чаще пути проектируют по неразрезной схеме с устройством (для упрощения узла крепления) сварных монтажных стыков вне опор.

Большое влияние на работу балок путей оказывает жесткость опор. Пути, располагаемые близи колонн, рассчитывают как обычные неразрезные балки; поскольку прогиб конструкций покрытия мал, то им можно пренебречь. При расчете путей, располагаемых в середине пролета, необходимо учитывать податливость опор и рассматривать их как балки на упругоподатливых опорах. Влияние осадки опор тем больше, чем больше удельный вес нагрузки от подвесного транспорта. При просадочных грунтах целесообразно проектировать пути по разрезной схеме.

Колеса кранов перемещаются по нижним поясам балок, которые выполняют функции подкранового рельса. В процессе эксплуатации нижний пояс подвергается абразивному износу и утончается. Для повышения долговечности конструкций целесообразно нижний ездовой пояс проектировать из износостойкой стали.

Для кранов грузоподъемностью до 5 т при пролете балок до 6 м принимают в основном специальные двутавры типа *M* с уклоном

внутренних граней полок (рис. 48, а). При использовании обычных двутавров ездовой пояс необходимо усиливать накладкой.

Для повышения долговечности балок при большой интенсивности работы кранов применяют бистальные двутавры (рис. 48, б): верхний пояс и стенка выполняются из обычной стали, нижний пояс – из стали повышенной прочности. Для повышения общей устойчивости балок составного сечения целесообразно проектировать их с уширенным верхним поясом.

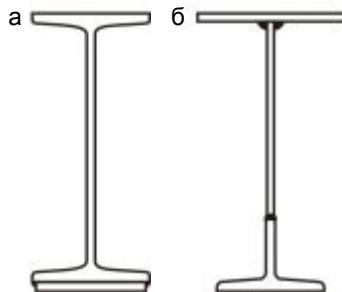


Рис. 48. Сечение балок подвесных кранов:
а – прокатные;
б – составного сечения

При шаге стропильных ферм 12 м необходимо:

- для уменьшения пролета балок ставить подвески (см. рис. 11);
- при кранах грузоподъемностью более 5 т рационально устанавливать вдоль крановых путей продольные фермы с нижним поясом из прокатного двутавра, выполняющим функции ездовой балки.

При таком решении за счет увеличения эффекта пространственной работы крановая нагрузка распределяется на несколько стропильных ферм.

Нагрузки и внутренние усилия определяют в балках подвесных крановых путей так же, как и для опорных кранов. Коэффициент динамичности для вертикальной нагрузки принимают равным 1,1, для горизонтальной – 1.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) балки пути подвесного крана отличается от НДС обычных подкрановых балок. Кроме изгибающих моментов от вертикальной и горизонтальной нагрузок (M_x и M_y) в сечении балки возникает бимомент B_{ω} , вызванный стесненным кручением (рис. 49), а в месте приложения сосредоточенных давлений крана в результате местного изгиба ездовой полки возникают напряжения $\sigma_{x,loc}$ и $\sigma_{y,loc}$ (рис. 50). Обычно напряжения от бимомента не превышают 3–5% от напряжений общего изгиба и в большинстве случаев ими можно пренебречь.

Местные напряжения определяют по формулам:

$$\sigma_{y,loc} = \frac{k_1 F_{k1}}{I_{f1}^2}; \quad (38)$$

$$\sigma_{x,loc} = \frac{k_2 F_{k1}}{t_f^2}, \quad (39)$$

где $F_{k1}=F_k/2$ – давление на колесе каретки (при двухколесных каретках); t_f – толщина полки по сортаменту; t_{f1} – толщина полки в сечении у стенки; k_1, k_2 – коэффициенты, определяемые по графику (рис. 51).

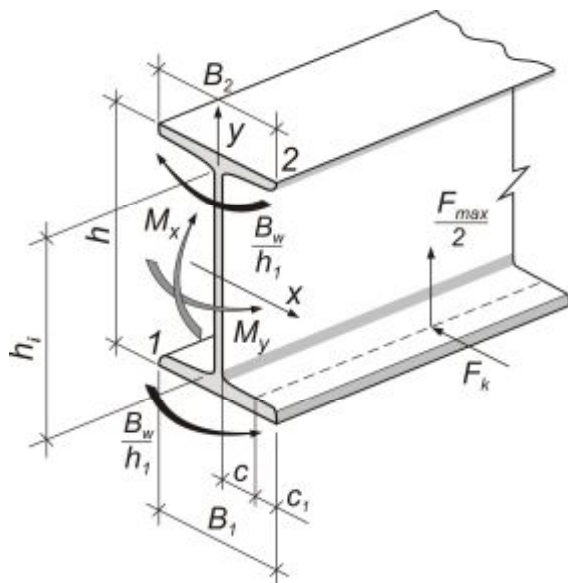


Рис. 49. Моменты в путевой балке подвешенного крана

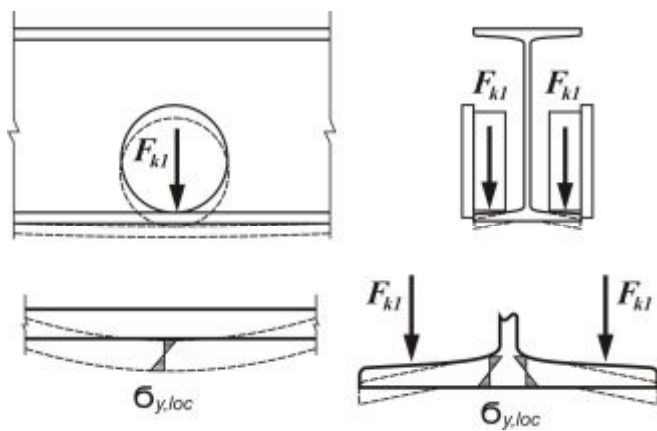


Рис. 50. Местные напряжения в ездовой полке балки

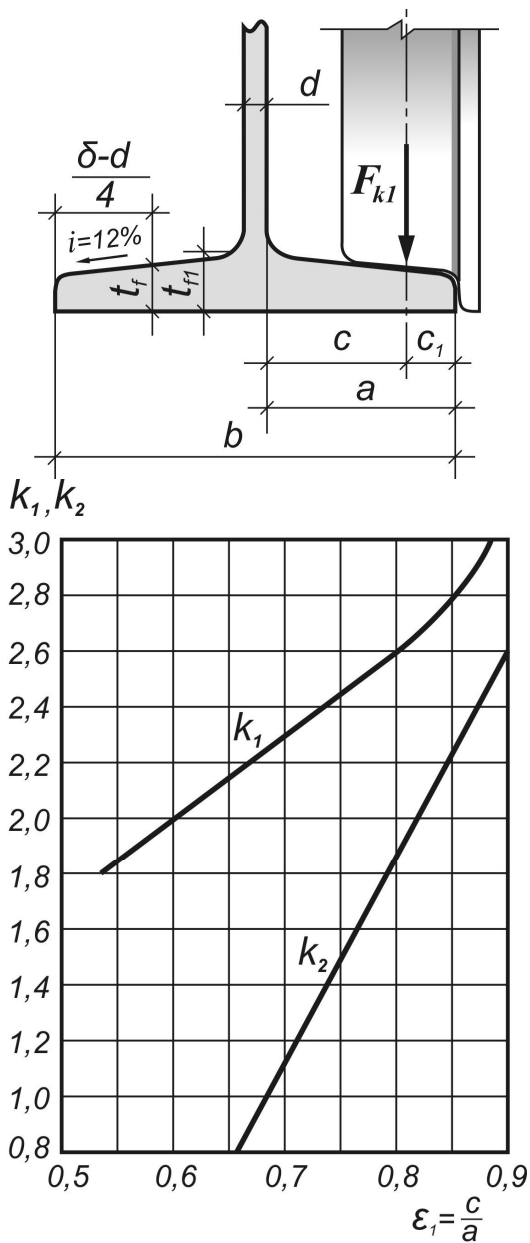


Рис. 51. Схема опирания колеса. График для определения коэффициентов k_1, k_2

Проверка несущей способности балки:

для верхнего пояса

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_y \gamma_c ; \quad (40)$$

для нижнего пояса

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} + \sigma_{x,loc} \leq R_y \gamma_c ; \quad (41)$$

$$\sigma_{y,loc} \leq R_y \gamma_c . \quad (42)$$

Коэффициент условий работы γ_c в формуле (40) для учета абразивного износа ездовой полки рекомендуется принимать равным 0,95. Коэффициент φ_b определяют в соответствии с прил. 7 [1]. Для балок пролетом 6м из двутавров по ГОСТ 5157-53* с индексом М значения φ_b приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения φ_b для двутавров по ГОСТ 5157-53* при пролете 6 м

№ I	I 18M	I 24M	I 30M	I 36M	I 45M
φ_b	0,861	0,88	0,902	0,88	0,9

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М.: ЦИТП, 1998. – 94 с.
2. СНиП 2.01.07.-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦПП, 1996. – 35 с.
3. Металлические конструкции / под ред. Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
4. Металлические конструкции. т. 2 / под ред. В.В. Горева. – М.: Высш. шк., 1999. – 528 с.
5. Металлические конструкции. т. 2. Стальные конструкции зданий и сооружений (Справочник проектировщика) / под ред. В.В. Кузнецова. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 512 с.
6. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс: учеб. пособие для вузов / В.В. Бирюлев, И.И. Кошин, И.И. Крылов, А.В. Сильвестров. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.
7. Пособие к СНиП 2.09.03-85. Проектирование открытых крановых эстакад. – М.: Стройиздат, 1990. – 28 с.
8. Винокуров В.А., Куркин А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности. – М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.
9. Руководство по оценке технического состояния стальных подкрановых конструкций: ЭРД-22-02-99 / ЦНИИПСК им. Мельникова, СибПСК. М., 2000. – 22 с.
10. ГОСТ 23121-78. Балки подкрановые стальные для мостовых электрических кранов общего назначения грузоподъемностью до 50 т: технические условия / Госстрой СССР. – М.: Изд-во стандартов, 1987.
11. Шабашов А.П., Лысяков А.Г. Мостовые краны общего назначения. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.
12. Клыков Н.А., Сабуров В.Ф. Расчетная оценка долговечности сварных подкрановых балок // Вопросы сварочного производства: темат. сб. науч. трудов. – Челябинск: ЧПИ, 1985. – С. 44–48.
13. Труфяков В.И. и др. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. – Киев: Наук. думка, 1990. – 255 с.
14. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий / А.И. Кикин, А.А. Васильев, Б.Н. Кошутин и др. – М.: Стройиздат, 1984. – 301 с.
15. Беленя Е.И., Нежданов К.К. К вопросу выносливости сжатой зоны стенки стальных подкрановых балок // Промышленное строительство. – 1976. – № 4. – С. 40–43.
16. Гохберг М.М., Пилипчук Ф. О расчете крановых металлических конструкций на выносливость // Строительные и дорожные машины. – 1973. – № 5. – С. 14–16.

17. Довженко А.С. Повышение вибрационной прочности сварных подкрановых балок путем усовершенствования конструктивной формы // *Материалы по стальным конструкциям*. – М.: Проектстальконструкция, 1958. – С. 195–209.
18. Крылов И.И., Васюта Б.Н. Особенности работы подкрановых балок со сменной подрельсовой частью // *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. – 1990. – № 5. – С. 8–12.
19. Кошутин Б.Н. Методика теоретического определения статистических характеристик вертикальной крановой нагрузки // *Металлические конструкции в строительстве*. – М.: МИСИ, 1983. – С. 12–21.
20. Крылов Н.А., Спирин Г.М. К расчету стальных сварных подкрановых балок на выносливость // *Металлические конструкции и испытания сооружений: межвуз. темат. сб. науч. трудов*. – Л.: ЛИСИ, 1978. – С. 46–50.
21. Малышкина И.Н. Некоторые вопросы прочности сварных подкрановых балок // *Металлические конструкции: сб. статей ЦНИИСК*. – М.: Стройиздат, 1968. – С. 128–143.
22. Сабуров В.Ф. Анализ влияния конструктивно-технологических факторов на долговечность сварных подкрановых балок // *Изв. вузов. Строительство*. – 1997. – № 7. – С. 4–9.
23. Рывкин Э.А. Определение местных напряжений в элементах стальных подкрановых балок // *Металлические конструкции в строительстве*. – М.: МИСИ, 1983. – С. 35–59.
24. Нежданов К.К., Туманов В.А. Повышение надежности узлов креплений подкрановых балок // *Долговечность строительных материалов и конструкций: материалы науч.-практ. конф. / под ред. В.П. Селяева; Мордовский ун-т*. – Саранск, 2000. – С. 41–42.
25. Борисенко Ю.С., Дворецкий В.И. Об оценке долговечности при проектировании подкрановых конструкций // *Металлические конструкции и испытания сооружений*. – Л.: ЛИСИ, 1987. – С. 18–23.
26. Шерешевский И.А. Конструирование промышленных зданий и сооружений: учеб. пособие для студентов строительных специальностей. – М.: «Архитектура-С», 2005. 168 с.
27. Яковенко А.Т. О вероятностном определении нагрузок от мостовых кранов на конструкции промышленных зданий // *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. – 1978. – № 11. – С. 41.
28. Хохарин А.Х. О боковых воздействиях мостовых кранов на каркас промышленного здания // *Промышленное строительство*. – 1961. – № 9. – С. 55–59.
29. Будур А.И., Белогулов В.Д. Стальные конструкции. Справочник конструктора. – К.: Сталь, 2004. – 210 с.
30. Кунин Ю.С., Эглескалн Ю.С. Исследование статистических свойств режимов нагружения подкрановых конструкций // *Промышленное строительство*. – 1969. – № 9. – С. 36–39.

Учебное текстовое электронное издание

**Емельянов Олег Владимирович
Шаповалов Эдуард Леонидович**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПОДКРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебное пособие

Издается полностью в авторской редакции
10 Мб
1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2013 год
ФГБОУ ВПО «МГТУ»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра строительных конструкций
Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru