

Министерство Высшего и Среднего специального образования  
Республики Узбекистан

Ташкентский автомобильно-дорожный институт

Кафедра «Дорожно-строительные машины»

На правах рукописи

Р Е Ф Е Р А Т

на тему:

«Основные положения расчета и конструирования крановых  
металлоконструкций»

Выполнил студент  
гр. 240 – 03 ЕУТТ

Хусаинов Р.

Руководитель,  
Ст. преп.

Ханкелов Т.К.

Ташкент – 2007

## Основные положения расчета и конструирования крановых металлоконструкций

План:

1. Основные положения и способы расчёт металлоконструкции .
2. Виды профили крановых металлоконструкции .
3. Методические конструкции.
4. Металлические конструкции мостовых кранов.
5. Металлические конструкции поворотных кранов.

Статический расчет крановых металлических конструкций производят с помощью методов строительной механики. В расчете используют принцип независимости действия сил. Расчетные нагрузки в элементах металлоконструкций определяют как для пространственных систем. Однако можно применять упрощенный расчет, расчленяя пространственную конструкцию на отдельные плоские системы (главная балка или главная ферма, вспомогательные фермы, концевые балки и т. п.) и каждую из этих систем рассматривать нагруженной силами, действующими в соответствующих плоскостях. Силы в стержнях определяют либо графическим способом (построением диаграммы Максвелла — Кретоны), либо аналитическими способами, рассматривая сварные и клепаные соединения как шарниры, передающие силы только по осям стержней без возникновения изгибающих моментов. При наличии перемещающейся по крановому мосту грузовой тележки необходимо проанализировать каждое ее положение и определить расчетные значения нагрузки в стержнях конструкции. Для определения наибольшей нагрузки в рассматриваемом стержне удобно пользоваться построением линий влияния [7].

Основным критерием подбора сечения растянутых стержней является удовлетворение условиям прочности. Кроме того, стержни должны обладать также определенной устойчивостью при продольном изгибе.

Расчетная сила для стержней решетчатых ферм крановых мостов выражается формулой

$$S_p = n_1 S_{п} + n_3 S_q + S_1 + S_2 + n_6 S_v$$

где  $n_1, n_3, n_6$  — коэффициенты перегрузки;  $S_{п}$  — статическая сила в стержне от постоянной нагрузки;  $S_q$  — статическая сила в стержне от подвижной нагрузки;  $S_1$  и  $S_2$  — инерционные силы, в стержне от постоянной и подвижной нагрузок (при их определении коэффициенты перегрузки не вводятся);  $S_v$  — сила в стержне от ветровой нагрузки.

Условие прочности растянутых стержней имеет вид

$$\sigma = \frac{S_p}{A} \leq [\sigma]$$

Проверка устойчивости центрально сжатых стержней производится по условному напряжению

$$\sigma' = \frac{S_p}{A} \leq [\sigma]$$

где  $S_q$  — расчетная (растягивающая или сжимающая) сила в стержне;  $A$  — площадь поперечного сечения рассчитываемого стержня (для клепаных конструкций при определении площади сечения растянутых стержней учитывают ослабление сечения отверстиями под заклепки);  $[\sigma]$  — допускаемое нормальное напряжение;  $\varphi$  — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе, определяемый по табл. 31 в зависимости от гибкости  $\lambda$  и материала стержня.

Гибкость  $\lambda$ , определяемая по формуле

$$\lambda = \frac{\mu l}{r_{\min}},$$

является основной характеристикой стержня при продольном изгибе. Здесь  $\mu = \mu_1 \mu_2$  — коэффициент приведения длины стержня ( $\mu_1$  учитывает способ заделки концов стержня;  $\mu_2$  учитывает изменение формы стержня по длине):

при одном жестко заделанном конце и другом свободном  $\mu_1 = 2$ ; при шарнирно опертых концах (к таким стержням относится большинство стержней ферменных конструкций грузоподъемных машин)  $\mu_1 = 1$ ; при одном жестко заделанном и другом шарнирно опертом  $\mu_1 = 0,7$ ; при обоих жестко заделанных концах  $\mu_1 = 0,5$ ;

при постоянном по длине стержня моменте инерции  $\mu_2 = 1$ .

**Т а б л и ц а 1. Коэффициенты  $\varphi$  для центрально сжатых элементов металлических конструкций**

Гибкость	Сталь с пределом текучести $\sigma_T$ , МПа				Алюминиевые сплавы		
	240	280	320	410	АМгб-М	АМгбБМ	ВЭ2-Т; Д16-Т
10	0,987	0,985	0,984	0,981	0,998	0,99	0,99
20	0,962	0,959	0,955	0,946	0,997	0,95	0,98
40	0,894	0,883	0,873	0,846	0,830	0,78	0,70
60	0,805	0,785	0,766	0,696	0,630	0,56	0,46
80	0,686	0,641	0,602	0,501	0,460	0,39	0,29
100	0,542	0,493	0,448	0,335	0,330	0,29	0,19
120	0,419	0,366	0,321	0,237	0,240	0,20	0,13
140	0,315	0,272	0,240	0,178	0,180	0,15	0,10
160	0,244	0,212	0,187	0,139	—	—	—
180	0,196	0,170	0,150	0,112	—	—	—
200	0,161	0,140	0,124	0,093	—	—	—
220	0,135	0,118	0,104	0,077	—	—	—

(Для стержней решетчатых конструкций, имеющих неизменное по длине сечение и рассматриваемых как стержни, шарнирно опертые по обоим

концам, коэффициент  $\mu=1$ .)

В формуле для гибкости  $I$  — действительная длина стержня;  $O_{\text{пт}}$  — минимальный радиус инерции сечения:

$$r_{\text{min}} = \sqrt{\frac{J}{A}}$$

где— $J$  минимальный момент инерции сечения;  $A$  — площадь поперечного сечения стержня.

Поскольку коэффициент  $J$  так же как и радиус инерции сечения  $r_{\text{min}}$  может быть неодинаковым в различных плоскостях, то и гибкость стержня в различных направлениях может быть различной. Сжатый стержень теряет устойчивость в плоскости наибольшей гибкости элемента.

При  $\lambda > 200$  расчет сжатых стержней производится по формуле Эйлера:

желательно, чтобы моменты инерции относительно осей  $x$  и  $y$  были приблизительно равны.

**Т а б л и ц а 2. Предельные гибкости  $\lambda$  элементов**

Элементы конструкций	Сжатые элементы		Растянутые Элементы	
	сталь	алюминиевые сплавы	сталь	алюминиевые сплавы
Пояса главных ферм	120	100	150	120
Одностержневые конструкции стрел, колонн, мачт	120—150	100—120	150—180	120—150
Остальные стержни главных ферм и пояса	<b>150</b>	<b>120</b>	200—250	180—200
вспомогательных ферм Все прочие стержни	200—250	150	250—350	250

**Примечание.** Значения  $\lambda$  даны для элементов с сечениями, симметричными относительно направления действия сил. При несимметричных сечениях предельные гибкости рекомендуется уменьшить на 30%

За расчетную длину  $l_0$  элементов ферм принимают: для *поясов* — расстояние между смежными узлами или местами крепления связей; для элементов *решетки* — расстояние, равное полной геометрической длине элемента (из плоскости фермы), или расстояние, равное 0,8 полной

геометрической длины стержня (в плоскости фермы); для опорных стоек и раскосов — расстояние, равное полной длине.

При работе элемента металлоконструкции на изгиб условие-прочности имеет вид:

$$\sigma_u = \frac{M}{W} \leq [\sigma_u]$$

$$S_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2}$$

где  $EJ$  — изгибная жесткость;  $\mu l$  — приведенная длина стержня.

Предельно допустимые значения гибкости для стержней, нагруженных осевой силой, приведены в табл. 2. Гибкость отдельных  $y$  панелей поясов стрел опорных раскосов и стоек, передающих опорные реакции, для сжатых элементов стальных стрел должна быть не более 80, а для растянутых — не более 150, Гибкость стрелы в целом не превышает 100. При подборе сечений сжатых стержней где  $M$  — изгибающий момент;  $W$  — момент сопротивления (для клепаных конструкций принимают момент сопротивления с учетом ослабления сечения отверстиями под заклепки).

При работе стержня одновременно на сжатие и изгиб его необходимо проверить на прочность по формуле

$$\sigma = \frac{S_p}{A} + \frac{M}{W} \leq [\sigma_u]$$

При действии в расчетном сечении поперечной силы элементы металлоконструкции проверяют на касательное, напряжение при изгибе:

$$\tau = \frac{TS}{J\delta} \leq [\tau]$$

где  $T$  — расчетная поперечная сила в данном сечении балки;  $S$  — статический момент пол-сечения относительно нейтральной оси без учета ослабления сечения отверстиями под заклепки;  $J$  — момент инерции сечения без учета ослабления сечения;  $\delta$  — толщина стенки. При расчете сжатых стержней необходимо учитывать их гибкость, расчет ведут в такой последовательности:

- 1) по табл. 2 определяют предельно допустимое значение гибкости стержней,  $\lambda_{пред}$
- 2) по зависимости  $r = l / \lambda_{пред}$  определяют минимальное значение радиуса инерции сечения;
- 3) выбрав форму сечения по ГОСТам на сортамент, выбирают соответствующий размер сечения так, чтобы действительный радиус инерции сечения был не меньше найденного минимального радиуса инерции;

4) определяют действительную гибкость стержня:

$$\lambda_{Д} = \frac{l}{r_{Д}} \leq \lambda_{пред}$$

5) по табл. 31 находят значение коэффициента  $\phi$  уменьшения допускаемых напряжений при продольном изгибе центрально сжатых стержней;

б) по силе  $S_p$ , сжимающей стержень, проверяют по уравнению правильность подбора площади сечения по устойчивости.

При конструировании металлоконструкций в первую очередь необходимо соблюдать следующие условия:

продольные оси стержней, подходящих к узлу, должны пересекаться в одной точке;

прочность сварных и заклепочных соединений необходимо проверять расчетом;

для растянутых стержней рекомендуется применять элементы максимальной длины с целью уменьшения количества стыков;

стержни и узлы следует проектировать без резких изменений сечений, чтобы избежать концентрации напряжений;

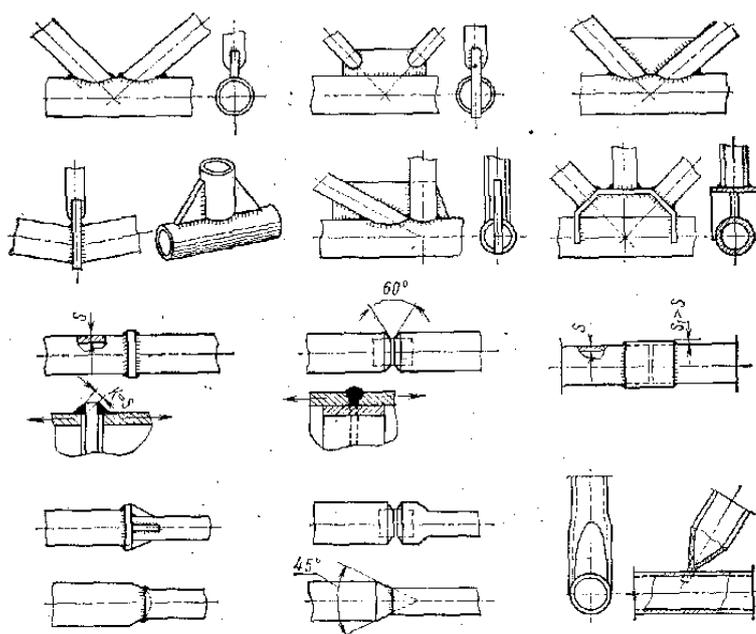
у составных стержней число используемых профилей должно быть минимальным.

В сечении, состоящем из двух не сваренных друг с другом элементов, они должны быть соединены планками. Расстояние между планками выбирают таким, чтобы гибкость растянутой ветви стержня не превышала 100, а сжатой — 50. Гибкость отдельных ветвей составных стержней из алюминиевых сплавов на участках между планками или узлами решеток не должна превышать 30 — для сжатых стержней и 80 — для растянутых.

Обычно поперечные сечения элементов, работающих на сжатие или растяжение, выполняют симметричными и нагрузку прикладывают по центру тяжести сечения. Формы наиболее распространенных сечений с ограничениями на ширину сжатых поясов из условия обеспечения их устойчивости (при полном использовании допускаемых напряжений) и технологии приварки внутренних диафрагм показаны на рис. 185. Для более полного удовлетворения потребностей краностроения освоено производство облегченных профилей — тонкостенных двутавров, тавро с короткой или удлиненной стенкой. Для основных рабочих элементов во избежание разрушения от коррозии не рекомендуется брать листы тоньше 4 мм, уголки менее 45X45X5 мм в сварных соединениях и менее 50X50X5 мм в клепаных соединениях. Все большее применение находят гнутые и штампованные профили незамкнутого и замкнутого типов и трубчатые профили. *Гнутые профили* (рис. 186) изготавливают профилированием полосового, листового и ленточного проката на гибочных станках. При этом получают профили с наиболее рациональными с точки зрения прочности и жесткости формами сечения, что позволяет экономить до 25% массы металла. При одинаковой

высоте площадь поперечного сечения гнутых швеллеров меньше, а моменты инерции сечения больше, чем у горячекатаных. При профилировании металла в холодном состоянии благодаря наклепу прочность гнутых профилей получается значительно выше прочности горячекатаных профилей. Однако из-за меньшего сопротивления усталости и пониженной местной устойчивости применение гнутых профилей в крановых металлоконструкциях ограничено. В решетчатых конструкциях из труб можно сократить расход металла благодаря отсутствию дополнительных связей, что особенно важно для стержней, сечения которых определяются условиями предельной гибкости. При равной площади поперечного сечения труба имеет больший радиус инерции, чем уголок, и поэтому может воспринимать большие продольные сжимающие нагрузки. Преимуществом труб является возможность применения стержней с малой толщиной стенок. Так, если толщина полок уголков составляет эта величина уменьшается до 0,02—0,05 диаметра. Замкнутые профили при одной и той же площади сечения имеют меньшую внешнюю поверхность, подверженную коррозии, а благодаря уменьшению проекции боковой поверхности и лучшей обтекаемости снижается ветровая нагрузка, что также ведет к уменьшению общей массы металлоконструкции. Хотя стоимость труб примерно на 30% выше стоимости уголкового проката, но конструкции, сваренные из труб, вследствие снижения количества вспомогательных элементов и массы металла, а также уменьшения стоимости окраски обычно оказываются дешевле конструкций из уголков. Если же учесть, что уменьшение массы, достигаемое при применении трубчатых конструкций, влияет и на размеры остальных элементов крана (ходовых колес, механизма передвижения, противовеса, подкрановых путей и т. п.), то замена уголков трубами становится эффективной даже при снижении массы всего на 8%.

В металлоконструкциях из алюминиевых сплавов целесообразно использовать тонкостенные элементы, устойчивость которых повышают ребрами жесткости. Эти жесткие тонкостенные элементы получают прокаткой или прессованием. Применение *прессованных профилей* позволяет без использования косынок и других дополнительных элементов получать наиболее экономичные сечения балок. Так, для трехгранных пролетных балок в качестве ездовой балки монорельсовой тележки используется двутавровый профиль к утолщенным полкам которого болтами прикреплены сменные рельсы, — также изготовленные из легкого сплава. Верхние полки двутавра выполнены наклонными для удобства стыкования со стенками балки. Для решетчатых трехгранных пролетных балок применяется



**Рис. 1 . Оформление узлов ферм с трубчатыми стержнями и сварных стыков труб**

профиль хорошо работающий под горизонтальной нагрузкой и позволяющий создать весьма технологичную конструкцию нижнего пояса балки а также профиль, показанный на рис. .

Металлические конструкции мостовых кранов. Мосты кранов могут быть двухбалочными или однобалочными. В двухбалочных мостах, металлоконструкцию обычно выполняют либо в виде двух коробчатых пространственно жестких балок- б соединенных по концам пролета с концевыми балками 5, в которых размещают ходовые колеса крана, либо в виде пространственной системы составленной из двух вертикальных 2,3 и двух горизонтальных 1, 4 решетчатых ферм. В последнем случае вертикальная ферма 3, непосредственно воспринимающая через рельсы, уложенные на ее верхнем поясе, вес тележки с грузом, является главной фермой. Параллельно главной ферме располагают вспомогательную вертикальную ферму 2, соединяющуюся с главной фермой двумя вспомогательными горизонтальными фермами 1 и 4, воспринимающими горизонтальные нагрузки, возникающие при торможении крана. Главные и вспомогательные фермы крепятся к концевым балкам 5. Механизм передвижения моста такого крана обычно располагается на верхней горизонтальной вспомогательной ферме. Крутящие моменты, возникающие при нагружении главных балок, воспринимаются пространственной системой, состоящей из главных балок, вспомогательных ферм, горизонтальных и поперечных связей. Вследствие этого главные балки четырехферменных мостов могут иметь меньшую горизонтальную «изгибную и крутильную жесткость, чем коробчатые балки однобалочных и двухбалочных мостов. Часто главные балки четырехферменных мостов выполняют одностенчатыми

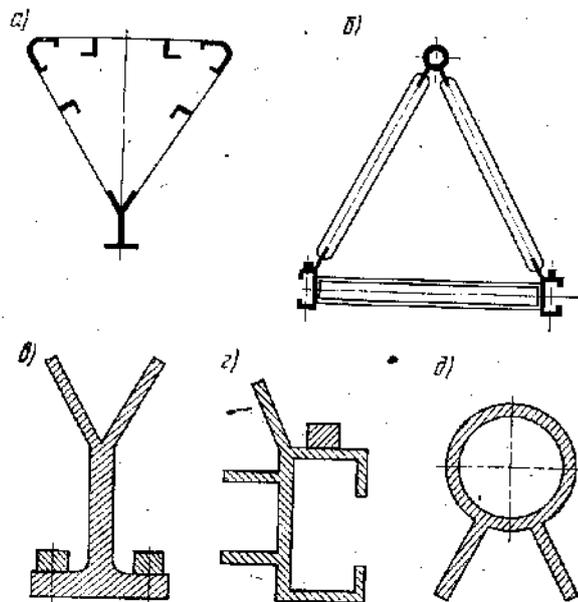
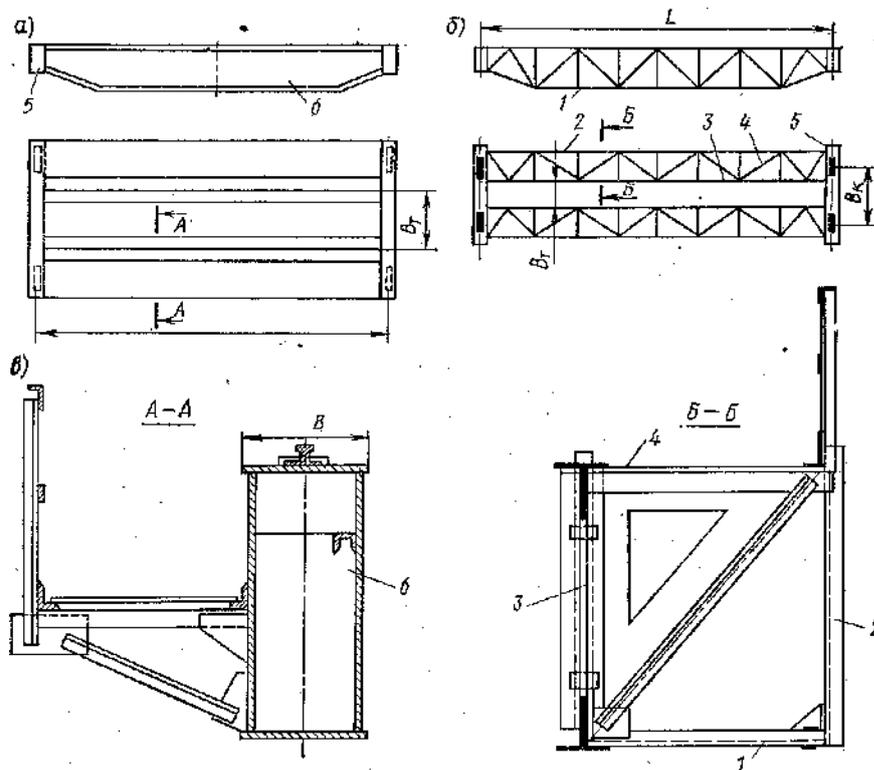


Рис. 2 Сечения пролетных балок (а, б), изготовленных из прессованных профилей {в—д}

В настоящее время при производстве кранов все шире применяют сплошные листовые металлоконструкции, так как они дешевле и менее трудоемки в изготовлении благодаря автоматизации процессов сварки и использованию листа вместо прокатных профилей. В листовых конструкциях по сравнению с решетчатыми более равномерно распределяется силовой поток и в связи с этим наблюдается меньшая концентрация напряжений в стыках. Такие конструкции обеспечивают более высокую надежность при переменных нагрузках.

Необходимо иметь в виду, что при малых грузоподъемностях вся площадь сечения сплошных листов полностью не используется, поэтому применять листовые конструкции в этих условиях нерационально. Перспективными для мостов кранов грузоподъемностью до 15 т оказались конструкции балок «оболочкового» типа из гнутых элементов. Благодаря рациональной форме сечения балки устойчивы, несмотря на то, что у них тонкие стенки и нет поперечных диафрагм.

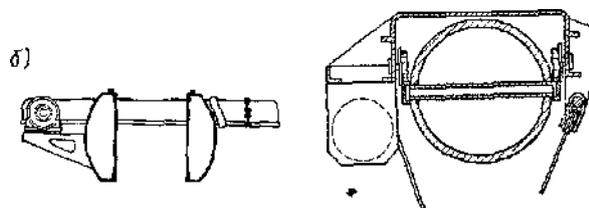
Вспомогательная стенка коробчатой балки иногда выполняется в виде безраскосной фермы, основная несущая стенка для обеспечения устойчивости снабжается продольными зигами, а отверстия в стенке балки — отбортовкой. Крановая тележка перемещается по рельсам, уложенным на верхних поясах основных балок. Механизм передвижения крана и троллеи тележки располагаются на консольных площадках, что



**Рис. 3** Металлические конструкции крановых мостов:  $V_T$  — колея тележки;  $L$  — пролет моста;  $V_K$  — база крана

обеспечивает легкий доступ к выкатным буксам ходовых колес, расположенных внутри концевых балок.

Наиболее распространенным типом кранового моста является двухбалочный мост с перемещением тележки по верхнему поясу. Однако он имеет сравнительно большую высоту, большую массу и трудоемок в изготовлении. Поэтому в мостовом краностроении все шире применяют однобалочные мосты с боковым расположением



**Рис.4.** Сечения балок «оболочкового» типа (а) и конструкции балок моста (б)

подъемного механизма Для однобалочных мостов характерны меньшая масса благодаря лучшему использованию свойств материала вертикальных стенок, меньшее число вспомогательных элементов и статическая определенность, что облегчает расчет. В ряде случаев снижение массы достигает 40%, что позволяет увеличить грузоподъемность крана без усиления существующих подкрановых путей. Для сокращения объема сварочных работ в однобалочных мостах применяются также оболочковые

пролетные балки К их торцам приваривают щиты с ходовыми колесами, а механизм передвижения моста может быть даже встроен внутрь балки. Для ходовых колес тележки на трубе устанавливаются продольные швеллеры, используемые в качестве рельса.

Коробчатые балки могут изготавливаться также из гнутых профилей. Основные профили 4 и 6 имеют в нижней части отбортовки 5 для сварного шва. В верхней части профили соединены швами Я причем отогнутые полки в скреплены со стенками пробочным соединением (электрозаклепками 5) и выполняют роль горизонтальных ребер жесткости, поддерживая стенки в сжатых верхних зонах. Вертикальные участки 7 поддерживают подтележечный рельс 1. Поперечные ребра 2, обеспечивающие устойчивость стенок и распределяющие нагрузку от рельса на стенки балки, также прикреплены к основному профилю электрозаклепками 3. В этой конструкции уменьшено количество продольных сварных

Рис. 5. Мосты с безраскосными фермами

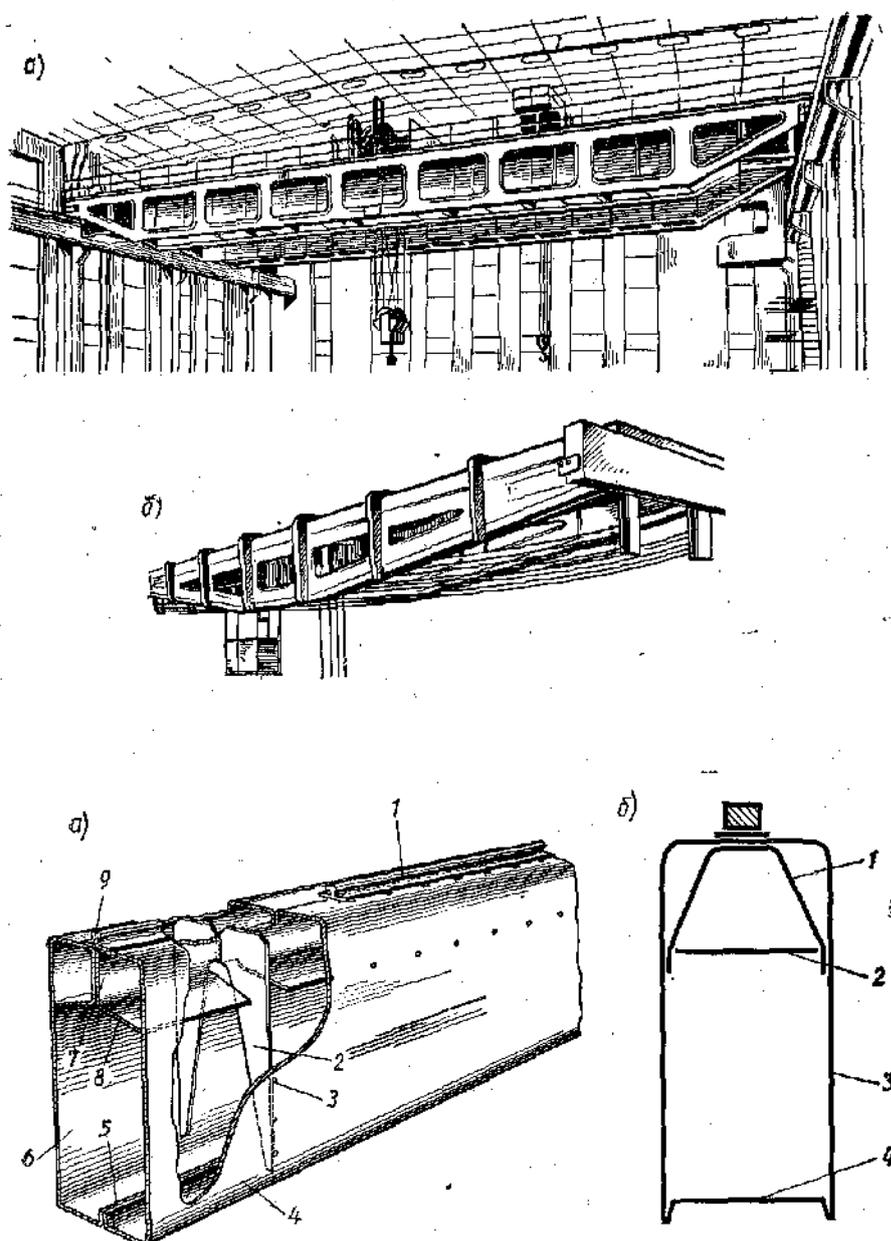


Рис. 6. Коробчатые балки из гнутых элементов.

швов (по сравнению с обычными конструкциями, сваренными из двух вертикальных и двух горизонтальных листов) и использовано минимальное количество горизонтальных ребер жесткости.

Аналогичная конструкция коробчатой балки из гнутых элементов образована из одного листа 3 и нижнего пояса 4. Подтележечный рельс поддерживается дополнительным гнутым листом 1, распорные нагрузки в котором воспринимаются горизонтальным листом 2. Предварительно сваривается коробка из листов 1 и 2 и заводится в полость гнутого листа 3 главной балки. Элементы балки, включая в отбортованный нижний пояс 4, скрепляются между собой точечной сваркой.

Так как изготовление коробчатых балок трудоемко, то разработаны и выпускаются одностенчатые пролетные балки с коробками жесткости, расположенными обычно вдоль сжатой зоны стенки. В таких балках функции элементов сечения четко распределены: стенки вместе с поясами воспринимают вертикальные нагрузки, боковой настил и верхний пояс — горизонтальные нагрузки, а коробка жесткости обеспечивает необходимую крутильную жесткость сечения. Коробка жесткости образована наклонными ребрами 2 и 4, приваренными к стенке 3, что устраняет сосредоточение сварных швов в месте, где верхний пояс 5 примыкает к стенке. Кроме того, верхняя сжатая зона стенки подкреплена двумя разнесенными по высоте продольными ребрами, благодаря чему стенка приобретает большую устойчивость. Лист 5 горизонтального настила поддерживается ребрами 6. В сечении предусмотрены также вертикальные ребра 1, обеспечивающие общую жесткость стенки. В другой конструкции верхний пояс / представляет собой треугольную коробку жесткости, приваренную к стенке 5. Верхний сжатый поясной лист подкреплен наклонными стенками коробки. Горизонтальная жесткость сечения обеспечивается отбортованным листом 3 настила, поддерживаемым гнутыми кронштейнами 4 и 2, связанными со стенкой и с коробкой жесткости.

В козловых кранах с подвесными тележками, перемещающимися по монорельсу, используются различные сечения однобалочного пролетного строения в зависимости от грузоподъемности и пролета крана и конструкции тележки

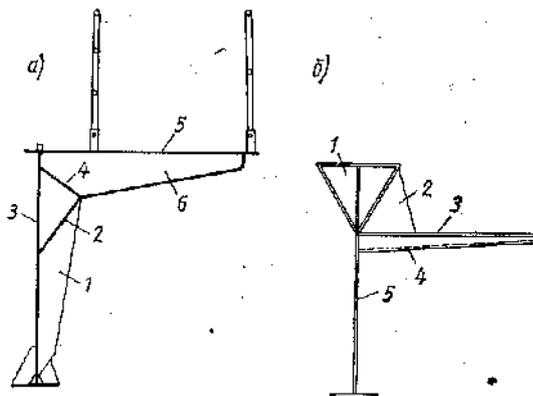


Рис. 7. Одно стенчатые пролетные балки коробками жесткости

Металлоконструкция мостовых кранов, состоящая из двух главных и двух концевых балок, жестко соединенных между собой, является статически неопределимой четырехопорной системой, что диктует требование повышенной точности изготовления и монтажа, поскольку определить фактические нагрузки на ходовые колеса в этих конструкциях трудно. Если более точно определить нагрузки, действующие в металлоконструкции, то появится возможность снизить ее массу, уменьшить требуемую мощность механизма передвижения и т. д. С этой целью предложена статически определимая трехопорная система. В этой конструкции мост крана собирается из двух жестких Г-образных полумостов *Л* и *Б*, связанных между собой шарнирно. Каждый полу С концевой балкой жестко соединена главная балка *З*. Таким образом, каждый полумост опирается на три точки — на два ходовых колеса и на свободный конец *В* главной балки, лежащий на горизонтальном ролике *4*, установленном на концевой балке сопряженного полумоста. Ролики *5* предназначены для направления главной балки, а торцевой лист *б* ограничивает взаимное перемещение полумостов. При расчете металлических сплошнотенчатых конструкций кранов следует рассмотреть нагрузки, которые возникают, когда тележка расположена а) посередине пролета и б) около наиболее нагруженной концевой балки. Для ферменных конструкций расчетные положения тележки устанавливаются из условия получения в расчетных элементах максимальных нагрузок. Наиболее точно эти нагрузки можно определить при расчете мостов как пространственных систем. Однако часто расчет ведут по упрощенной схеме, расчленяя пространственную конструкцию моста на отдельные плоские элементы (главную балку или ферму, вспомогательные фермы, концевые балки). В этом случае надо ввести коэффициент условий работы *m*, принимаемый  $m = 0,8$  — для главных балок коробчатых мостов без вспомогательных ферм и  $m = 1,2$ , если есть вспомогательные фермы;  $\gamma = 0,5$  — для концевой балки и  $\gamma = 0,45$  — для вспомогательной фермы. У односленных балок мостов  $m = 1,1$  — для главных балок и  $\gamma = 0,55$  — для вспомогательных

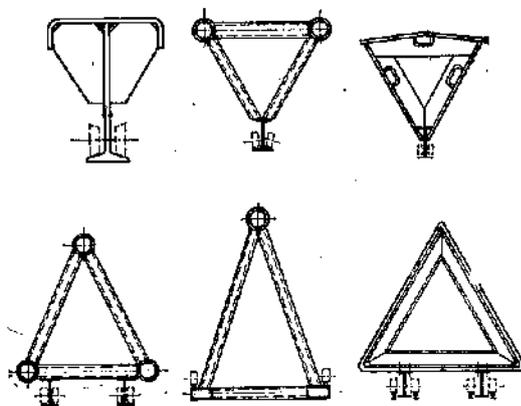


Рис.8. Поперечные сечения пролетных строений однобалочных козловых кранов с подвесными тележками.

ферм; у мостов с раскосными фермами  $t=1,1$  — для главных ферм и  $t=0,55$  — для вспомогательных ферм. Балку моста и ферму проверяют по условиям жесткости моста (ограничение прогиба). Рекомендуются следующие допустимые относительные значения (в долях пролета моста  $L$ ) прогиба металлоконструкций мостовых кранов при действии только вертикальной, статически приложенной подвижной нагрузки без учета коэффициента перегрузки.

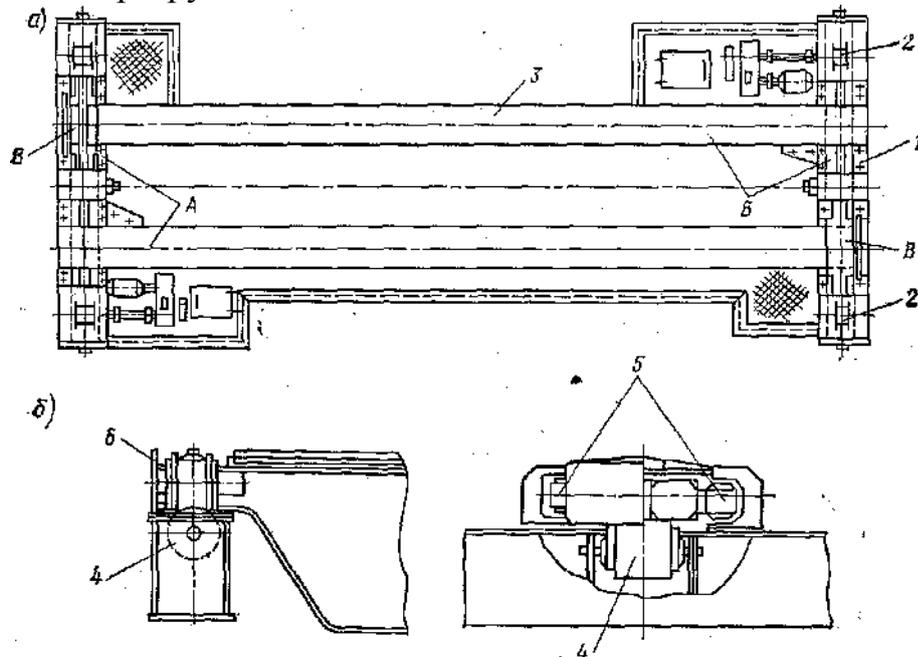


Рис. 9. Трехопорная конструкция кранового моста

Главным балкам (фермам) мостов с пролетом  $L > 17'$  м при изготовлении задают строительный подъем, равный  $1/1000$  пролета, чтобы при работе под нагрузкой балка не имела чрезмерного прогиба, мешающего нормальной работе тележки. В кранах малой грузоподъемности и кран-балках часто ограничиваются применением одной балки, являющейся основным несущим элементом. Обычно это прокатная двутавровая балка, выбор размера которой производят по условиям обеспечения необходимой жесткости и возможности прохода тележки или электростали по ее нижнему поясу. Для увеличения высоты балки и ее момента сопротивления без увеличения массы иногда прокатные двутавровые балки разрезают по длине, как показано на. Затем разрезанные половинки раздвигают, смещают на полшага вырезов и сваривают. Выступающие по концам балки консольные части отрезают.

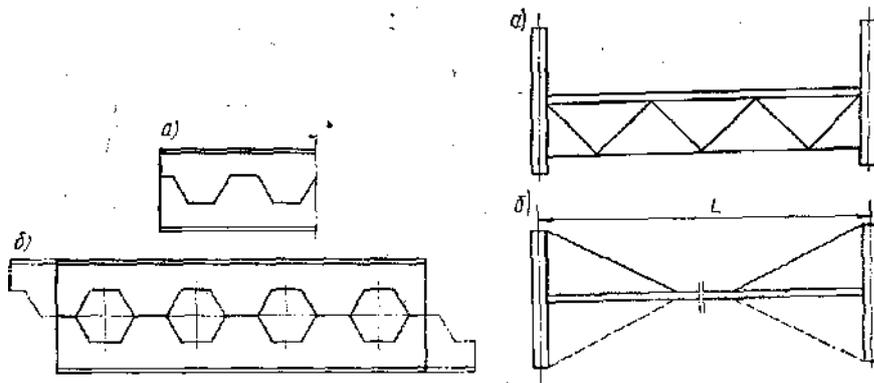


Рис. 10. Составная двутавровая балка

Рис.11. Кран-балка с элементами горизонтальной жесткости

У кранов большой грузоподъемности, с большим пролетом двутавровую балку прикрепляют к фермам, причем балку либо подвешивают к ферме моста снизу, либо ферму устанавливают в-плоскости основной балки. Для обеспечения необходимой горизонтальной жесткости и общей устойчивости главной балки конструкции моста применяют горизонтальные фермы или дополнительные раскосы используемые для размещения механизма передвижения моста. При применении горизонтальных ферм жесткости (при пролете крана  $L > 10$  м) элементы горизонтальной фермы выбирают так, чтобы их гибкость  $\lambda$  не превышала 250.

От жесткости металлоконструкции моста крана в значительной степени зависит правильность его движения по рельсам. При недостаточно жестких конструкциях наблюдаются повышенные перекосы моста.

При определении прогиба решетчатых ферм применяют формулу Мора, которая, если все стержни работают только на продольные нагрузки, имеет вид

$$f = \sum_{k=1}^n \frac{S_{Qk} S_{ik} l_k}{E_k A_k},$$

где  $S_{Qk}$  — сила от внешней нагрузки  $Q$ , от действия которой определяется прогиб в  $k$ -м стержне;  $S_{ik}$  — сила в  $k$ -м стержне от единичной силы, приложенной в точке определения прогиба;  $l_k$ ,  $A_k$ ,  $E_k$  — соответственно длина, площадь сечения и модуль упругости материала  $k$ -го стержня.

При проектировании крановых мостов с балками коробчатого сечения в ряде случаев целесообразно проверять металлоконструкцию на время затухания собственных колебаний, вызывающих вибрацию, отрицательно влияющую на самочувствие крановщика [7]:

$$t = \frac{t_c}{\delta} \ln \frac{f_{\max}}{f}$$

где  $t_c$  — период собственных колебаний моста с тележкой без груза, расположенной в середине пролета, с;  $\delta$  — логарифмический декремент затухания колебаний, равный разности логарифмов двух последовательных

амплитуд;  $f_{\max}$ —амплитуда колебаний в начальный момент (иногда принимается равной статическому прогибу от веса номинального груза);  $f$ —амплитуда, при которой процесс затухания колебаний считается законченным; обычно принимают  $f=0,05f_{\max}$  Декремент затухания  $\delta$  с точностью, достаточной для практических расчетов, можно считать в процессе колебаний постоянной величиной, равной

$$\delta = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{t_c^2},$$

Допустимое время затухания колебаний  $I$  зависит от типа крана и условий его эксплуатации. Обычно его принимают равным 15 с. Период собственных колебаний крановых мостов общего назначения при их работе без груза  $t_c < 0,25$  с.

У алюминиевых сплавов внутренние неупругие сопротивления больше, чем у сталей. Эти сопротивления являются одной из причин затухания колебаний, поэтому и логарифмический декремент затухания колебаний конструкций из алюминиевых сплавов почти вдвое больше:  $\delta \approx 10^{-2}/t_c^2$

Высоту главных решетчатых ферм в середине пролета из условий необходимой жесткости принимают в пределах  $h_{\phi} = (1/12 - 1/16)L$

Высоту балки коробчатого сечения принимают в пределах  $A_{\text{в}} = (1/16 \div 1/20)L$ , а высоту балки двутаврового сечения База крана  $B$  т. е. расстояние между осями ходовых сирных тележек у многоколесных кранов, принимается равной  $(1/7 - 1/5)I$ .

При предварительных расчетах, ориентировочную массу половины моста крана 4-й группы режима работы (без учета массы

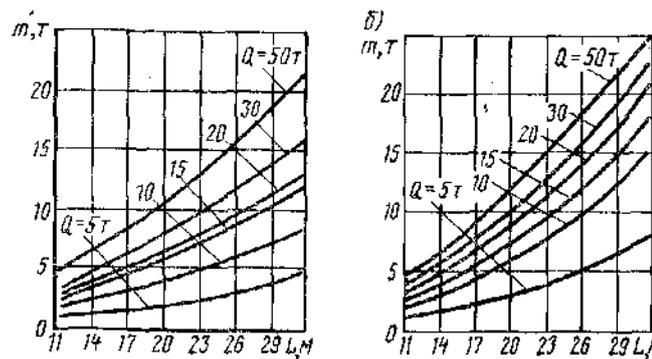


Рис. 12 . Графики для определения массы половины крановых мостов:

*а* — с главными фермами; *б* — с Салками коробчатого сечения

концевой балки, настила и рельсов) можно определить по графикам в зависимости от принятой конструкции моста, грузоподъемности и пролета [24]. Для кранов 1, 2 и 3-й групп режима работы массу, полученную по данным графика, следует уменьшить на 10%, а для кранов 5-й и 6-й групп

режима работы — увеличить на 10%. Для мостов, изготовленных из низколегированных сталей, значения массы следует уменьшить на 10—20%. Масса решетчатых мостов малых пролетов практически та же, что и коробчатых, а при больших пролетах решетчатые мосты легче коробчатых на 10 — 40%, причем более существенное снижение массы наблюдается у кранов малой грузоподъемности.

Массу однобалочных крюковых кранов с управлением из кабины определяют с помощью графиков. Для кранов управляемых с пола, масса оказывается ниже на 10—25%.

Ширину  $B$  горизонтального листа балки из условий обеспечения горизонтальной жесткости принимают в пределах  $\eta = (1/2 - \eta/3) D_0$ , и она должна быть  $B > (1/404 - 1/50) B$ .

Толщину вертикальных листов балок принимают обычно не менее 5 мм. При отношении высоты листа к его толщине  $\eta/b = 80 - 7 - 160$  вертикальную стенку с целью повышения устойчивости укрепляют поперечными вертикальными ребрами жесткости. Очень тонкие стенки ( $A/b \leq 160$ ) укрепляют вертикальными и горизонтальными

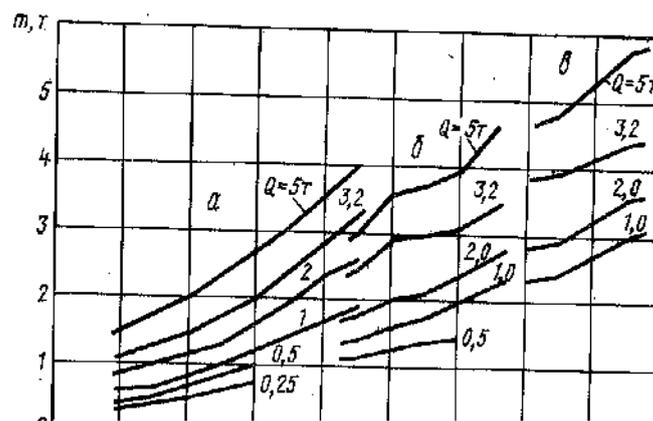


Рис.13. Масса подвесных однобалочных кранов: *а* — однопролетных; *б* — двух пролетных; *в* — трехпролетных

ребрами жесткости. Наибольшее расстояние между поперечными ребрами жесткости не превышает двойной высоты стенки (и не более 3 м).

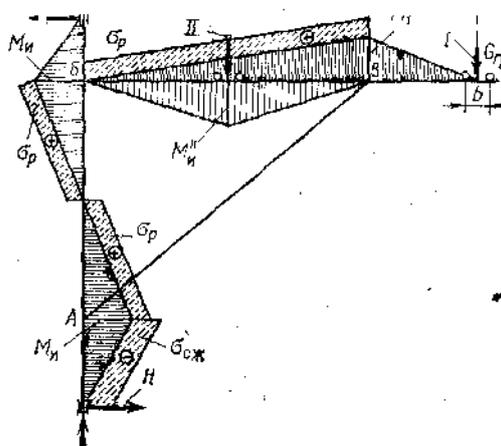
Рамы тележек мостовых кранов в большинстве случаев сваривают из листовой стали К верхнему листу рамы приваривают специальные пластики для последующей обработки или делают набор подставок для компенсации неточностей при сборке устанавливаемых на них элементов механизмов. При проектировании рамы тележки особое внимание обращают на обеспечение достаточной ее жесткости, обеспечивающей нормальную работу механизмов. Так как рама тележки состоит из ряда жестко соединенных балок, установленных на четыре опоры, то она является многократно статически неопределимой системой. Точный расчет рамы методами строительной механики весьма трудоемок. Поэтому используют

приближенные методы расчета, расчлняя конструкцию рамы на отдельные двухопорные, свободнолежащие продольные и поперечные балки. Так как действительные деформации и напряжения отличаются от расчетных, то для компенсации допущенных погрешностей и повышения жесткости принимают запас прочности, равный 2. Для обеспечения безопасности обслуживания тележка имеет перила, проходящие с двух сторон, перпендикулярных направлению движения, а при подводе тока по гибкому кабелю и отсутствии галереи для обслуживания перила устанавливаются и со стороны токоподвода. Для продольных и поперечных балок рам тележек рекомендуется применять гнутые и штампованные профили. Балки следует располагать по возможности непосредственно под опорами валов, блоков, редукторов, двигателей механизма. Рама тележки должна быть полностью закрыта настилом из листовой стали, за исключением отверстий, через которые проходят грузовые канаты и кабели для грузового электромагнита. При предварительных расчетах металлоконструкции моста и механизмов ориентировочную массу  $m_T$  тележек мостовых кранов общего назначения можно принять по данным

Металлические конструкции поворотных кранов. При работе поворотных кранов груз может находиться постоянно на конце стрелы или перемещаться по стреле. В зависимости от выбранной схемы крана расчет стрелы производят различными способами. При неподвижной нагрузке подкос  $AB$  стрелы рассчитывают на сжатием а растяжку  $BV$  — на растяжение от сосредоточенной нагрузки, приложенной к оголовку стрелы. При нагрузке, перемещающейся вдоль стрелы, определение расчетной нагрузки для подкоса производят при положении груза на максимальном вылете. Расчет стрелы производят в этом случае для двух положений груза: на конце стрелы (положение 1) и посередине пролета. Максимальный изгибающий момент стрелы в точке  $B$ , когда тележка находится в положении 1, Для определения максимального изгибающего момента при положении тележки в. пролете балки между точками  $B$  и  $B$  тележка должна быть установлена в пролете так, чтобы точка середины пролета делила пополам расстояние  $a$  между равнодействующей  $Y$  от сил  $P_1$  и  $P_2$  давления ходовых колес на балку и наибольшей из этих двух сил. Сечение с наибольшим изгибающим моментом окажется расположенным не в середине пролета, а под большей нагрузкой. При этом наибольший момент для случая неравных нагрузок, т. е. при определяют где  $\# = L_1 + L_2 >$ , а для случая равных нагрузок, т. е. при  $P_1 = P_2 = p$  (рис. 203, б), — по формуле

$$= 2P.$$

Для наиболее рационального использования сечения стрелы необходимо, чтобы макси-



моменты при нахождении груза как в положении /, так и в положении // были одинаковы, т. е.  $M_{и} = M_{и'}$ .

Отсюда можно найти размер  $c$ . Так как в поворотных кранах база тележки весьма невелика, то, заменяя силы, действующие на ходовые колеса, одной силой  $O_{гр}$ , приложенной в центре тележки, находим, что в положении // тележки  $M_{и'а} \sim O_{гр}c/4$ . Из условия равенства моментов получаем  $c =$

Рис. 14 . Расчетная схема 41/5.

Колонну крана с внешней верхней опорой (см. рис. 202) рассчитывают на изгиб по наибольшему изгибающему моменту  $M_{и}$ , возникающему либо в точке опоры подкоса  $A$  на колонну, либо в точке  $B$  соединения стрелы с колонной.

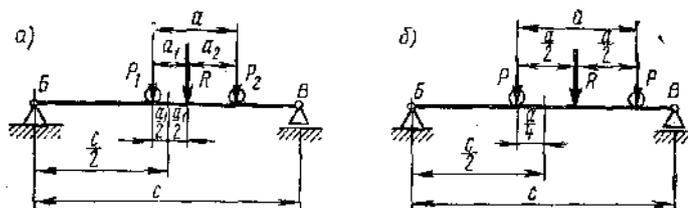


Рис. 15. Схема определения изгибающих моментов

При работе поворотного крана с постоянным вылетом (когда нагрузка не перемещается по стреле) прогиб металлоконструкции не имеет решающего значения. Если же нагрузка перемещается по стреле, то прогиб стрелы от веса тележки и наибольшего рабочего груза должен быть таким, чтобы уклон пути, по которому передвигается тележка при наиболее невыгодном положении тележки, не 360 превышал 0,003. Это условие не распространяется на краны, у которых механизм передвижения тележки оборудован автоматическим тормозом замкнутого типа, и на краны, у которых тележка перемещается канатной тягой.

В поворотных кранах, у которых изменение вылета создается качанием стрелы в вертикальной плоскости, стрела представляет собой стержень, имеющий прямолинейную, ломаную или криволинейную продольную ось. Нижний конец стрелы крепится к поворотной части металлоконструкции, а верхний конец поддерживается полиспастом изменения вылета. Благодаря этому стрелу можно рассматривать в плоскости подвеса груза как стержень с двумя шарнирно опертыми концами. В поперечном сечении стрела обычно представляет собой четырехугольник или треугольник. Пояса стрелы обычно изготавливают из проката — уголков или труб. Из этих же видов

проката выполняют и элементы решеток стрел. Для снижения материалоемкости стрелу изготавливают в виде стержня переменной жесткости по длине. В этом случае продольную устойчивость стрелы проверяют на расчетной длине  $l_{\text{р}}$ , где  $l$  — длина стержня и  $\mu$  — коэффициент длины, зависящий от закона изменения момента инерции сечения стержня и от отношения минимального момента инерции сечения стрелы к максимальному. Зная коэффициент  $\mu$  и минимальный радиус инерции сечения, в котором момент инерции достигает максимального значения  $I_{\text{max}}$ , определяют гибкость стержня переменного сечения:

По этому значению  $\lambda$  для стержня сплошного сечения по табл. 31 определяют коэффициент

Проверку общей устойчивости стрел следует производить по обоим главным направлениям: в плоскости подвеса стрелы и в перпендикулярной ей плоскости. Расчетную длину стрелы принимают в зависимости от схемы закрепления ее концов (рекомендуемые значения коэффициента приведения длины  $\mu$  даны на с.

На участках между соединительными планками каждая ветвь сечения стрелы представляет собой сжатый стержень, закрепленный по концам, проверяемый на устойчивость по гибкости  $K$ .

В нижней полке балки однорельсового пути по которой перемещаются ходовые колеса тележек талей, возникают напряжения от изгиба под действием собственной силы тяжести бал-

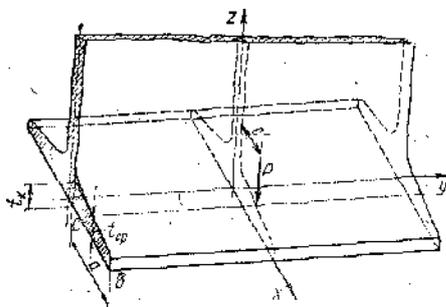


Рис.16. Схема расчета полки однорельсового пути

ки и напряжения от местного изгиба, вызываемые сосредоточенной нагрузкой  $P$  — силой-давления катка тележки. Для определения местных напряжений полку балки рассматривают как плиту бесконечной длины, жестко закрепленную по одному продольному краю в месте примыкания его к стенке балки при остающемся свободным другим краем. Напряжение на нижней границе сечения (в точке  $B$ ) от изгиба силой тяжести балки, подвешиваемой на тросах где  $M_{\text{адг}} = 2P/4 + \delta l^2/8$  — изгибающий момент в сечении, расположенном на половине расстояния  $l$  между точками подвеса рельса, от всех действующих сил (сосредоточенных внешних сил и равномерно распределенной нагрузки  $\delta$  от силы тяжести рельса);  $\sigma_{xII}$  —

момент сопротивления изгибу. Знак « $\ominus$ » относится к точке  $B$  на нижней границе сечения, а знак « $\oplus$ » к точке, расположенной на верхней границе сечения полки.

В этих формулах  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  — коэффициенты, зависящие от соотношения  $c/a$  (рис. 204) и принимаемые по графикам, изображенным;  $I_K$  — толщина сечения полки в корневом сечении;  $I_{cp}$  — толщина полки в среднем сечении.

В зависимости от положения нагрузки  $P$  на полке наибольшие напряжения могут возникнуть либо в точке  $A$ , либо в точке  $B$ . Приведенные напряжения для точки  $B$  равны, а приведенные напряжения для точки  $A$ , определенные по формуле (362). Если балка изготовлена, например, из стали Ст3, то  $[a_s] = 180$  МПа,  $[a_d] = 200$  МПа. Различие в значениях объясняется образованием наклепа металла балки от действия ходовых колес.

Расстояние между точками крепления пути определяют расчетом прочности рельса на изгиб и на жесткость (прогиб). Уклон пути при положении тележки посередине между креплениями не должен превышать 0,003. Предельный прогиб монорельсового пути не должен превышать  $1/400$  длины пролета между точками крепления.