

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВПО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет»
Машиностроительный факультет
Кафедра автомобилей и подъемно-транспортного оборудования (АПТ)

Н.Н. Эльяш

**МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

Электронное учебное пособие (конспект лекций)

Екатеринбург 2015

Эльяш Н.Н. **Металлоконструкции подъемно-транспортных машин:** Электронное учебное пособие (конспект лекций). Екатеринбург: Изд-во Рос. гос.проф.- пед.- ун-та, 2015. 62с.

Содержание пособия полностью соответствует рабочей программе, составленной согласно требованиям ФГОС ВПО с учетом рекомендаций Примерной основной образовательной программы по направлению подготовки 051000.62 Профессиональное обучение (по отраслям). Профиль подготовки - «Машиностроение и материалобработка», профилизация «Подъемно-транспортное оборудование».

Пособие предназначено в помощь студентам для самоорганизации учебной работы при изучении дисциплины «Металлоконструкции подъемно-транспортных машин», что особенно актуально при заочной форме обучения, а также при использовании дистанционных технологий. В пособии дана классификация металлоконструкций, приведены краткие сведения о материалах для их изготовления с учетом особенностей работы и видов нагрузок. Рассмотрены вопросы монтажа, расчета соединений; приведены общие сведения о методах неразрушающего контроля. Изложены методики прочностных расчетов.

Пособие также может быть рекомендовано для преподавателей и студентов учреждений высшего и среднего профессионального образования профилизации «Транспорт», и других направлений подготовки, связанных с использованием грузоподъемной техники.

Рецензент – доктор технических наук, профессор А.П.Комиссаров (ФГБОУ ВПО «Уральский государственный аграрный университет»)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН	5
2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН.....	7
2.1. Виды металлоконструкций кранов, основные характеристики	7
2.2. Типы и конструкции подкрановых балок.....	10
2.3. Материалы, сортамент, сечения металлоконструкций кранов..	12
2.4. Соединения металлоконструкций.....	15
2.4.1. Сварные соединения.....	15
2.4.2. Заклепочные и болтовые соединения.....	18
2.5. Основные принципы технологии монтажа, эксплуатации и ремонта металлоконструкций.....	20
2.6. Виды и средства контроля металлоконструкций.....	23
2.6.1. Характеристика дефектов сварных соединений.....	23
2.6.2. Способы неразрушающего контроля сварных соединений.....	25
3. РАСЧЕТ КРАНОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	29
3.1. Нагрузки на металлоконструкции кранов.....	29
3.1.1. Режимы работы кранов.....	29
3.1.2. Виды нагрузок.....	30
3.2. Методики расчета металлических конструкций.....	33
3.2.1. Расчет по предельным состояниям.....	33
3.2.2. Расчет по допускаемым напряжениям.....	35
3.3. Расчет металлоконструкций двухбалочного мостового крана..	37
3.3.1. Исходные данные для расчета. Основные соотношения размеров мостовых балок.....	37
3.3.2. Проверка на прочность главной балки.....	41
3.3.3. Расчет торцевых балок.....	44
3.3.4. Проверка соединений металлоконструкции на срез.....	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	47
ПРИЛОЖЕНИЯ	48

ВВЕДЕНИЕ

«Металлоконструкции подъемно-транспортных машин» – это одна из дисциплин профессионального цикла бакалавров, обучающихся в соответствии с учебными планами профилизации «Подъемно-транспортное оборудование». Все подъемно-транспортные машины состоят из механизмов, несущих металлических конструкций и систем управления.Metalloконструкции – это составляющая, которая в наибольшей степени определяет техническую безопасность, надежность, металлоемкость, ремонтпригодность и экономичность всего комплекса подъемно-транспортного оборудования.

Задачи изучения данной дисциплины состоят в следующем:

- получить знания о материалах для изготовления металлоконструкций; о видах нагрузок на металлоконструкции и режимах их работы.
- получить знания о конструкциях стержней, балок и ферм, применяемых в грузоподъемных механизмах.
- изучить основные методы проектирования и расчета металлоконструкций, их элементов и соединений.
- овладеть навыками выполнения расчетов элементов металлоконструкций на прочность и на устойчивость.
- овладеть навыками применения нормативно-технической документации, справочной литературы и современной вычислительной техники;

1. Классификация подъемно-транспортных машин

Подъемно-транспортные машины можно разделить на три основные группы: подъемники, перемещающие груз в вертикальном или наклонном направлении; крановые устройства (машины, перемещающие груз как в вертикальном направлении, так и в горизонтальном); машины безрельсового транспорта, перевозящие груз в горизонтальном или близком к нему направлении, а также машины, оборудованные грузоподъемными устройствами. Классификационная схема грузоподъемных механизмов приведена на рисунке 1.



Рис.1. Классификация грузоподъемных механизмов

Крановые устройства бывают поворотные и неповоротные; первые, в свою очередь, делятся на передвижные и гораздо реже - стационарные. Передвижные бывают на рельсовом ходу (портальные, башенные, железнодорожные краны) и на безрельсовом ходу (пневмоколесные или автокраны, гусеничные, плавучие, на понтонах). К неповоротным крановым устройствам относят мостовые краны, которые имеют наиболее широкую область применения в цехах предприятий,

мастерских, на складах, эстакадах и т.п. [1]. металлоконструкции кранов бывают балочные, ферменные и смешанные.

Балки – это металлоконструкции, работающие, в основном, на изгиб. Фермы – металлоконструкции, состоящие из стержней, работающих под осевой нагрузкой. Смешанные конструкции включают балочные и ферменные элементы.

Балки более технологичны и надежны, имеют меньшие строительные высоты. Фермы легче и имеют меньшее время затухания колебаний.

Балки применяют в металлоконструкциях малых и средних размеров (стационарные поворотные краны, консольные краны, кран-балки, мостовые краны), в которых увеличение веса еще невелико, при серийном производстве и при тяжелых режимах эксплуатации, нуждающихся в повышенной надежности. Фермы целесообразны для средних и больших размеров (башенные краны, козловые краны, перегружатели), при индивидуальном производстве и ненапряженных режимах эксплуатации [2].

Интенсификация использования кранов и повышение роли технологичности создали устойчивую тенденцию расширения области применения балок.

2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

2.1. Виды металлоконструкций кранов, основные характеристики

Все грузоподъемные машины состоят из механизмов, несущих металлических конструкций и систем управления. Для вертикального перемещения служит механизм подъема, для горизонтального перемещения элементов машины и груза – механизмы передвижения, поворота, изменения вылета. Металлические конструкции можно подразделить на пролетные, опорные и стреловые. На рисунке 2 приведена структурная схема, иллюстрирующая разделение металлоконструкций по их видам.

К пролетным относятся мосты кранов, которые выполняются однобалочными (кран-балка), двухбалочными и четырехферменными [3, 4].



Рис.2. Виды металлоконструкций кранов

Металлоконструкции мостовых кранов составляют до 80 % от общего веса, поэтому определение рациональных параметров такой металлоконструкции обуславливает их экономичность. В то же время мосты являются наиболее ответственными конструкциями с точки зрения безопасности проведения работ.

Характеристики металлоконструкций мостов:

- Кран-балка имеет малую грузоподъемность, в качестве грузовой тележки используется тельфер. Ездовым элементом металлической конструкции служит двутавр, по нижним полкам которого перемещается электроталь (тележка). Номер профиля двутавра выбирается из условий прочности, устойчивости и жесткости. Для самых малых пролетов жесткость обеспечивается концевыми скосами.

- Двухбалочные мосты состоят из двух главных балок коробчатого сечения, опирающихся на две торцовые (концевые) балки также коробчатого сечения, в которых смонтированы колеса крана. К главным балкам крепятся рельсы, по которым перемещается грузовая тележка, а к их наружным вертикальным стенкам – площадки: с одной стороны для механизма передвижения моста, с другой – для троллеев, питающих ток электродвигатели на тележке. Ширина пояса балки должна быть достаточной для размещения внутри балки механизма передвижения крана и электрооборудования. Двухбалочные мосты проще в изготовлении, чем четырехферменные, однако при пролетах более 17 м они тяжелее четырехферменных, а при пролетах более 22 м имеют меньшую горизонтальную жесткость. Снижению металлоемкости коробчатых балок способствуют вырезы в стенках. Коробчатая конструкция поддается механизации изготовления, обладает хорошим сопротивлением усталости, меньшей общей высотой моста. Металлоконструкция двухбалочного моста схематично представлена на рисунке 3.

- Четырехферменные мосты состоят из двух главных и двух вспомогательных вертикальных ферм. Каждая главная ферма и связанная с ней горизонтальными решетками вспомогательная ферма образуют половину пролетного строения моста. Обе половины жестко крепятся к торцовым балкам, в которых смонтированы ходовые колеса моста. Для кранов грузоподъемностью 5...50 тонн применяются, в основном, решетчатые главные фермы, а свыше 75 тонн – сплошные балки или же фермы с двойными стержнями [3].

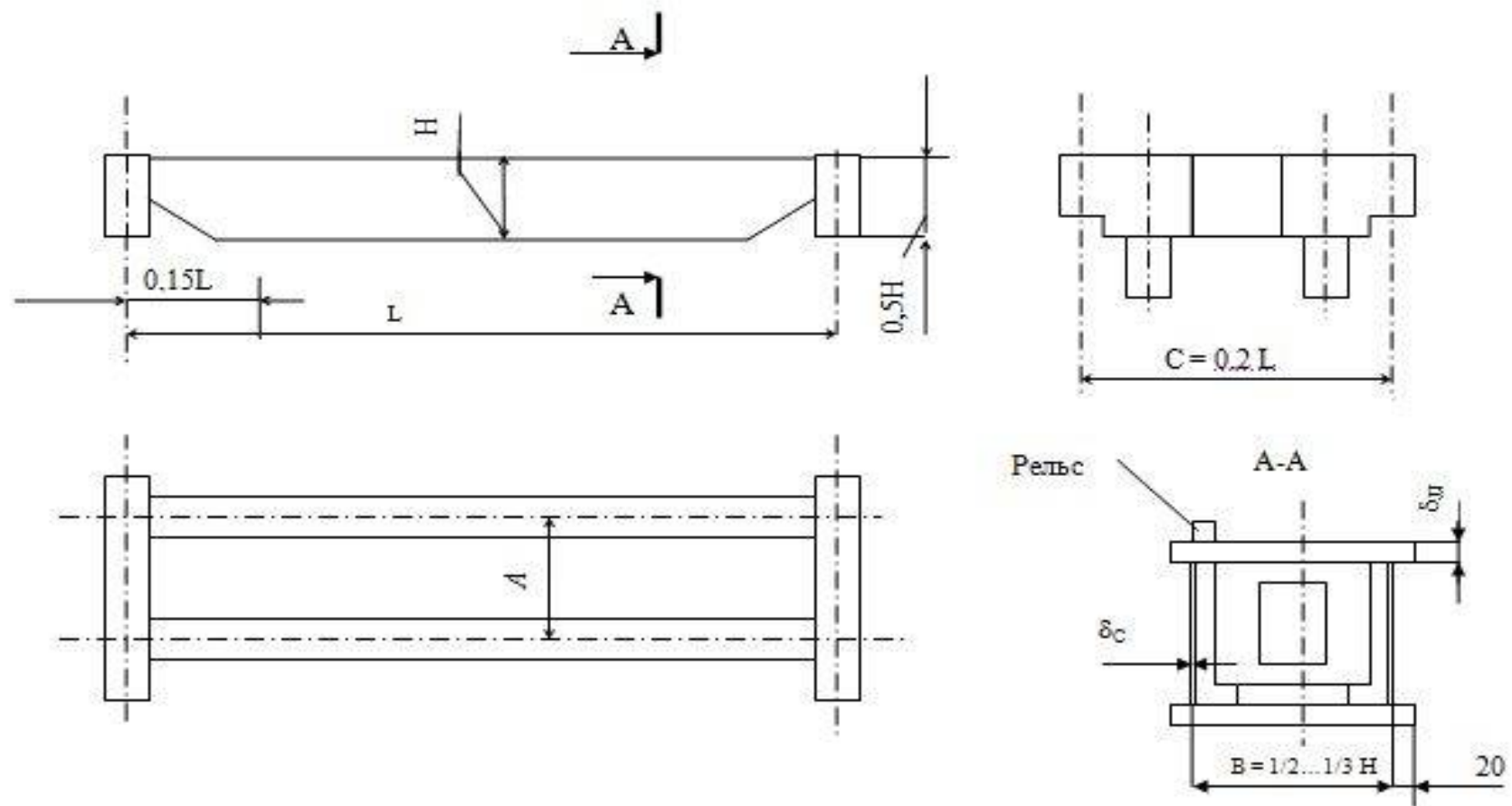


Рисунок 3 – Схема пролетной части двухбалочного моста

2.2. Типы и конструкции подкрановых балок

Подкрановые балки опираются на колонны и служат для перемещения подъемных кранов вдоль цехов и открытых эстакад. При небольших пролетах балок (шаге колонн 6-8 м) и сравнительно легких кранах применяются прокатные и составные сварные балки, а в некоторых случаях балки, усиленные шпренгелем, как показано на рисунке 4. При больших пролетах (12-24 м) или кранах большой грузоподъемности ($Q = 100 \dots 250 \text{ т}$) применяется комбинированная система в виде балки, усиленной сквозной фермой. В этом случае следует закреплять в горизонтальной плоскости нижнюю полку двутаврового верхнего пояса, а также нижние пояса ферм.

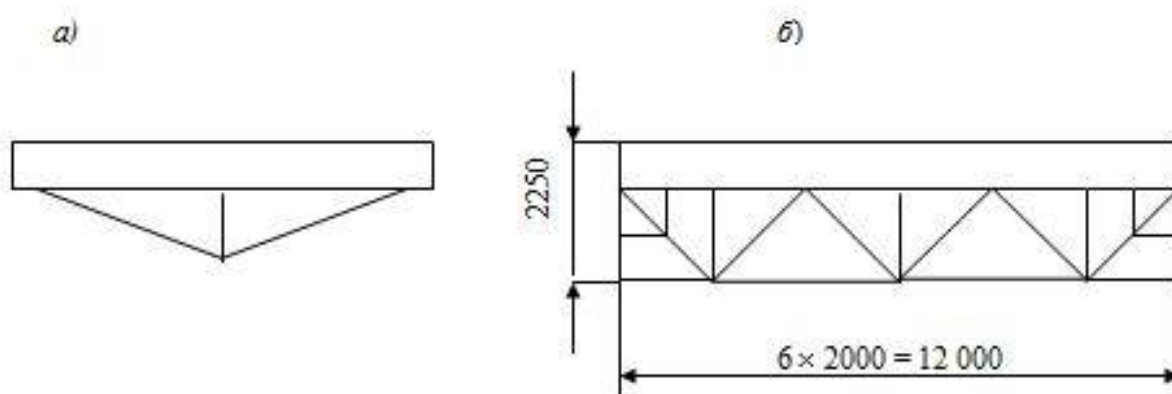


Рис.4. Схемы подкрановых балок, усиленных: а) – шпренгелем; б) – сквозной фермой

Высота подкрановых балок назначается в зависимости от величины расчетной нагрузки в пределах $1/5 \dots 1/10$ расстояния между осями колонн.

Для восприятия горизонтальных инерционных сил, возникающих при разгоне или торможении грузовой тележки на кране, а также сил, возникающих при перекосе кранового моста, принимаются различные конструктивные меры. В некоторых случаях сечение подкрановой балки делается с усиленным верхним поясом или же применяются тормозные балки или фермы. Примеры конструкций тормозных балок и ферм показаны на рисунке 5.

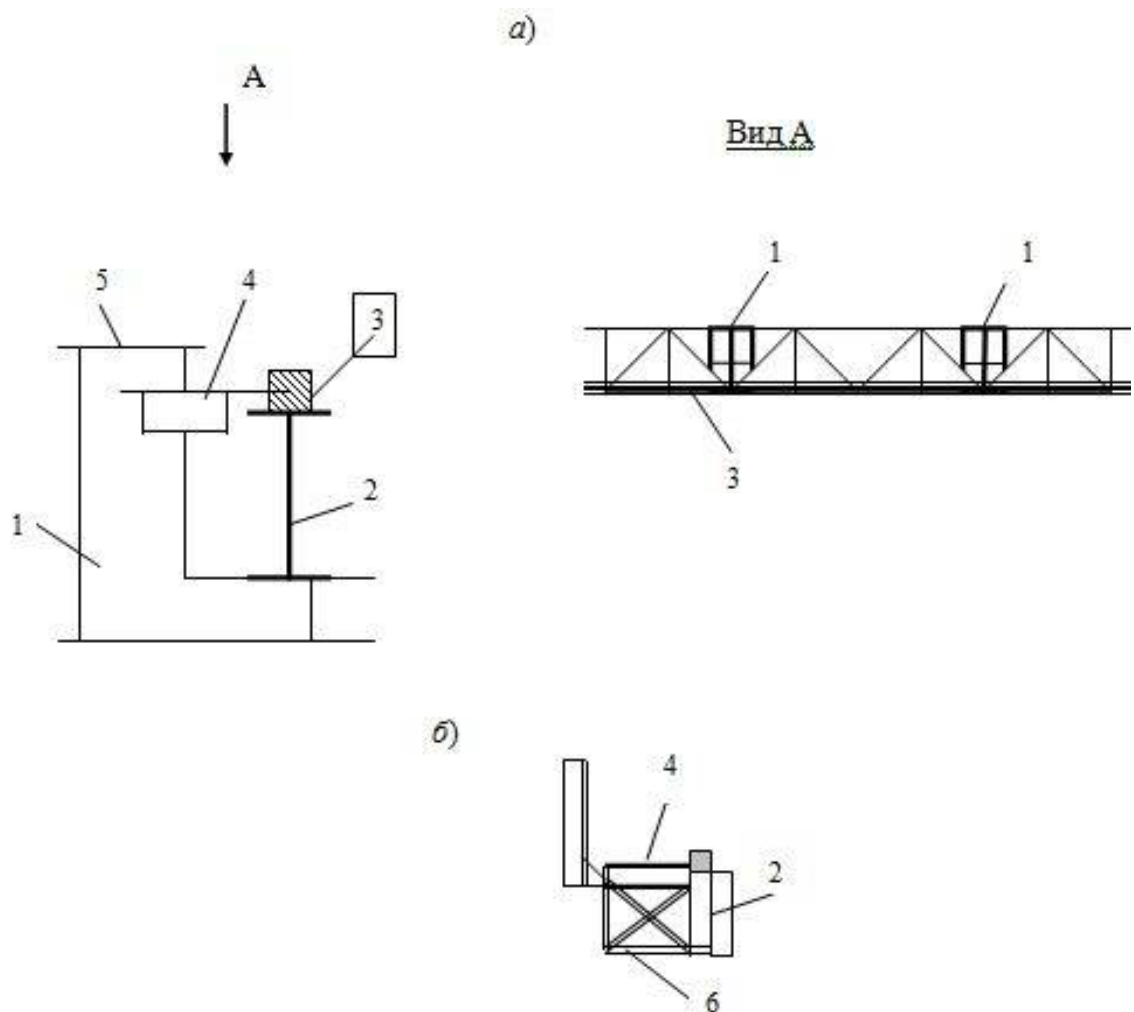


Рисунок 5 – Схемы тормозных балок (а) и ферм (б) :

1- колонна; 2 – подкрановая балка; 3 – верхний пояс подкрановой балки;
4 – тормозная балка (ферма); 5 – пояс тормозной балки; 6 – вертикальные связи.

В тормозных балках и фермах основными опорами их в вертикальной плоскости служат опоры здания. При шаге колонн до 6 м пояс может быть исполнен в виде одиночного швеллера; при больших пролетах применяется специальная вертикальная ферма, расположенная параллельно стенке подкрановой балки.

К подкрановым балкам крепятся рельсы – железнодорожные, специальные крановые или брусковые [6]. Для кран-балок и мостовых кранов грузоподъемностью до 5 т применяется брусковый рельс, привариваемый к балке прерывистыми швами. Для кранов

грузоподъемностью от 5 до 20 *t* используются железнодорожные рельсы. Специальные крановые рельсы могут применяться для кранов любой грузоподъемности. На концах подкрановых балок устанавливаются упоры с деревянными брусками или буферами (пружинными или гидравлическими).

2.3. Материалы, сортамент, сечения металлоконструкций

Для изготовления металлических конструкций подъемно-транспортных машин обычно применяются прокатные углеродистые и низколегированные стали различных марок.

Прокатные стали делятся на 2 основные группы: сталь листовая (горячекатаная, широкополосная универсальная и полосовая) и сталь профильная (уголки, швеллеры, тавровые балки, двутавровые, трубы бесшовные и электросварные, трубы стальные квадратные и другие профили) [4].

Для элементов, изгибаемых в одной плоскости, наилучшей является двутавровая форма; для сжимаемых – трубчатая.

Листовая сталь употребляется, главным образом, в виде толстолистовой стали толщиной 4...50 мм. Обычно ширина листов составляет 1400 ... 2000 мм при длине 6...8 м. Широкополосная сталь катается шириной 200...1050 мм, а полосовая – 12...200 мм с длиной полос от 3 до 10 м.

Угловой профиль применяется, главным образом, для элементов, работающих на осевые усилия и для соединительных элементов. Сортамент равнополочных уголков включает номера 2 – 25; максимальные длины уголков до 13 м. В сортаменте уголок каждого номера имеет несколько толщин. В общем случае предпочтительно применять уголки с возможно более тонкими полками, даже если это приводит к увеличению их номеров.

Швеллеры используют в элементах, работающих на осевые усилия, и в виде балок, работающих на поперечный изгиб, а также как соединительные конструктивные элементы. В сортаменте швеллеры имеют высоты 50...400 мм. Начиная с № 14 и до № 24, швеллеры изготавливаются

при одной высоте двух или трех различных по размерам сечений. Длины швеллеров от 4 до 13 м.

Двутавры применяются главным образом для элементов, работающих на поперечный изгиб. В сортаменте двутавры имеют высоты 100...600 мм. Начиная с № 18 и до № 30 двутавры для каждой высоты имеют также 2...3 различных по размерам сечения. Длина двутавров от 4 до 13 м. Балки двутавровые специальные для подвесных путей имеют высоты 180, 240, 300, 360, 450 мм при длинах от 4 до 13 м.

Трубы применяются для элементов, работающих на осевые усилия, особенно на сжатие. В сортаменте трубы бесшовные имеют наружный диаметр 25...820 мм, а сварные – 38...1620 мм. Толщина стенки бесшовных труб 2,5...75 мм; сварных 2...20 мм. Максимальные длины бесшовных труб до 12,5 м, а электросварных – до 12 м.

В трубчатых конструкциях благодаря большим радиусам инерции возможно применение ферм большей длины; преимущество труб в том, что они имеют меньше соединительных элементов. Они наиболее удобны для наружной покраски и испытывают меньшее давление ветра. Торцы трубы при монтаже конструкций должны быть герметически закрыты, чтобы не возникала опасность попадания влаги с последующим замерзанием. При изготовлении решетчатых конструкций квадратные трубы (ГОСТ 8639-82) более удобны, чем круглые, т.к. их проще соединять. Они могут также работать на поперечный изгиб (ходовые балки на стрелах башенных кранов). Их наружные размеры от 10 до 180 мм [4].

Гнутые профили, получаемые из листовой и полосовой стали, дают экономию металла и сварочных работ. Форма гнутых профилей подобна уголкам (равнобоким и неравнобоким); корытный профиль (наподобие швеллера), но различных модификаций. Профили стандартизованы (ГОСТ 19771-74,

ГОСТ 8282-83, и пр., – см. справочники по сортаменту металла). Выборка из ГОСТов на сортамент приведена в приложении.

Рельсы крановые (ГОСТ 4121-76) и рельсы железнодорожные широкой (ГОСТ 7174-75) и узкой колеи (ГОСТ 6368-82) используют для подтележечных рельсов на кранах и для подкрановых путей.

Составные сечения стержней ферм применяются для раскосов, для поясов. Они создаются из комбинаций уголков, швеллеров, стальных полос. Основные типы приведены в литературе [3, 4].

Для вертикальных и горизонтальных ферм, а также для консолей часто применяют решетчатые конструкции, примеры которых показаны на рисунке 6. Горизонтальные делают из условия повышенной жесткости, а вертикальные – из условия устойчивости.



Для вертикальных ферм



Для горизонтальных



Для консолей

Рисунок 6 - Примеры решетчатых конструкций.

Пояса сварных балок делают только из листов. Наиболее целесообразна конструкция с одним поясным листом, толщиной до 50 мм во избежание хрупких разрушений. Конструкции и размеры сечений выбирают из условий устойчивости.

Для крановых конструкций применяют также профили из алюминиевых сплавов, особенно гнутые и штампованные элементы или

детали. Они имеют повышенную деформационную способность, чем стальные [4].

2.4. Соединения металлоконструкций

В металлоконструкциях ПТМ используют сварные, заклепочные и болтовые соединения. Заклепочные и болтовые соединения применяются главным образом в монтажных стыках и узлах, когда это вызывается требованиями перевозки конструкций (ограничение габаритов) или условиями их монтажа.

2.4.1. Сварные соединения

Основным видом соединений металлоконструкций мостовых кранов является сварное соединение встык, выполненное стыковым швом, автоматической, полуавтоматической или ручной сваркой электродами не ниже типа Э42, при этом для ответственных конструкций швы считаются равнопрочными с основным металлом, то есть:

$$[\sigma^{с6}] = [\sigma],$$

где $[\sigma^{с6}]$, $[\sigma]$ - соответственно, допускаемые напряжения растяжения, сжатия и изгиба сварного шва и основного металла конструкций.

В этом случае швы делают прямыми с подваром корня шва и выводом его концов за пределы стыка. Швы встык, воспринимающие растягивающие силы делают прямыми или косыми в зависимости от способов сварки и контроля качества. Виды сварных стыковых соединений изображены на рисунке 7. Если контроль производится только путем наружного осмотра, то прямые швы считают неравнопрочными и назначают при расчетах запас прочности 15 %. При необходимости равнопрочности швы делают косыми [3].

Расчетные характеристики среза для стыковых швов определяют из соотношения:

$$[\tau_{св}] = 0,6 [\sigma].$$

Напряжение в шве прямого стыка проверяется по формулам, известным из курса «Детали машин»:

- при сжатии

$$\sigma_c^{св} = \frac{F}{l_{ш} \cdot \delta} \leq [\sigma_c^{св}],$$

где $[\sigma_c^{св}]$ - допускаемое напряжение при сжатии;

при растяжении

$$\sigma_p^{св} = \frac{F}{l_{ш} \cdot \delta} \leq [\sigma_p^{св}],$$

где $[\sigma_p^{св}]$ - допускаемое напряжение при растяжении.

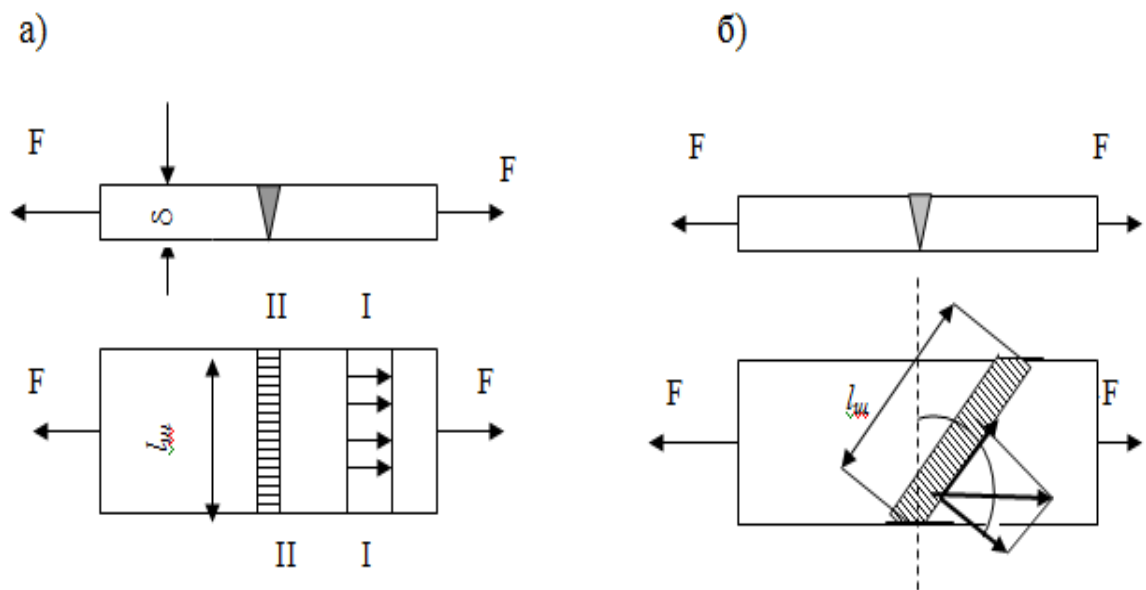


Рисунок 7 - Сварные соединения встык, выполненные швами:

а) – прямым; б) – косым

Прочность швов косых стыков может быть проверена расчетом на действие нормальных и касательных напряжений по формулам:

- на растяжение

$$\sigma_p^{c\theta} = \frac{F \cdot \sin \alpha}{l_u \delta} \leq [\sigma_p^{c\theta}] ,$$

- на срез

$$\tau^{св} = \frac{F \cdot \cos \alpha}{l_{ш} \delta} \leq [\tau^{св}] ,$$

где F - расчетная осевая продольная сила, Н;

δ - наименьшая толщина соединяемых элементов;

$l_{ш}$ - расчетная длина стыкового шва;

α - угол между направлением продольной силы и швом.

Соединения внахлестку осуществляются при помощи угловых швов – фланговых или лобовых, которые представлены на рисунке 8. Наибольшая расчетная длина фланговых швов ограничивается величиной, равной $60 h_{ш}$, наименьшая – $4 h_{ш}$, но не менее 40 мм ($h_{ш}$ – катет углового шва). Исключение составляют сопряжения, в которых усилие воспринимается фланговым швом на всем его протяжении (например, поясные швы балок), при этом длина шва не ограничивается.

Сварные угловые швы, воспринимающие продольную силу, рассчитываются по формуле:

$$\tau_y^{св} = \frac{F}{\varepsilon \cdot h_{ш} l_{ш}} \leq [\tau_y^{св}] ,$$

где h_y - катет шва; ε - коэффициент, зависящий от вида сварки:

$\varepsilon = 1$ для автоматической сварки, однопроводной;

$\varepsilon = 0,8$ – для полуавтоматической, однопроводной;

$\varepsilon = 0,7$ – для ручной и многопроводной автоматической и

полуавтоматической сварки,

$[\tau_y^{св}] = 0,7 \sigma$ - допускаемое напряжение углового шва при срезе.

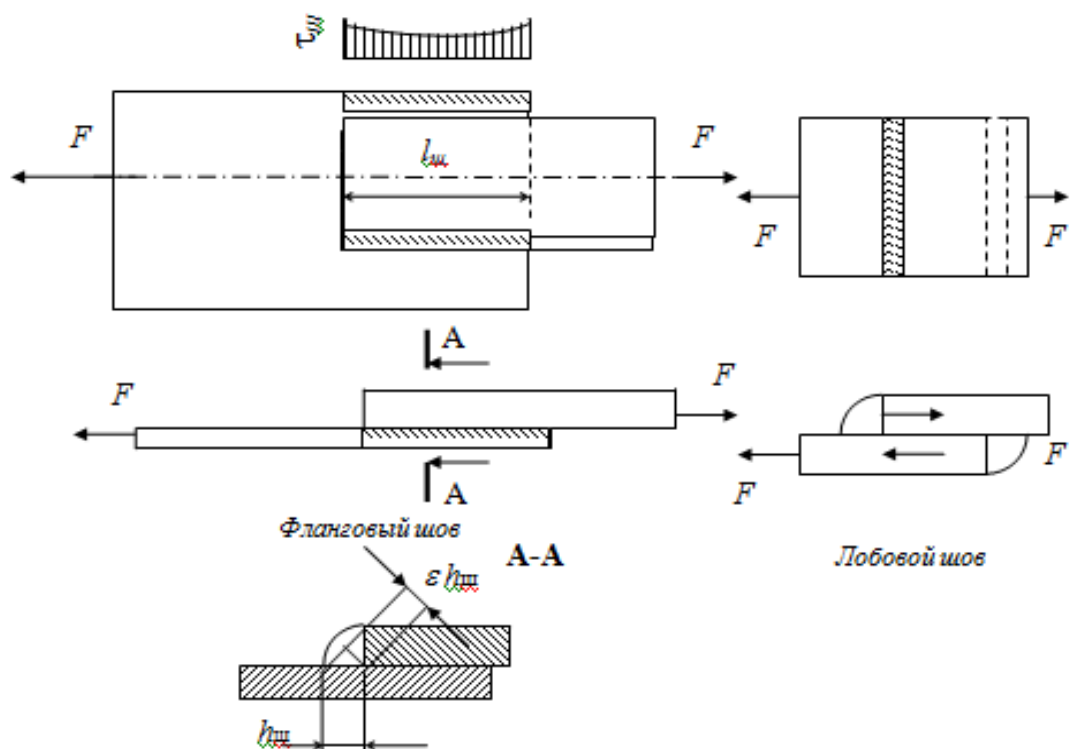


Рис. 8 - Сварные соединения внахлестку. $l_{ш}$ – длина шва; $h_{ш}$ - толщина шва, принимаемая равной катету вписанного треугольника; ε - коэффициент, зависящий от вида сварки.

2.4.2. Заклепочные и болтовые соединения

Применяются главным образом в монтажных стыках и узлах, когда это вызвано требованиями перевозки (ограничения габаритов), монтажа. Заклепки применяют обычно диаметром от 14 до 23 мм, с полукруглой головкой,

а в необходимых случаях – с потайной или полупотайной головкой. Предельная толщина соединяемых элементов не должна превышать $5d$ (где d - диаметр стержня заклепки). При общей толщине соединяемых элементов более $5d$ в ответственных соединениях, работающих на срез, следует применять болты повышенной точности. В соединениях, работающих на сдвиг, при больших усилиях применяют высокопрочные болты.

В рабочих элементах конструкций число заклепок или болтов, расположенных по одну сторону стыка должно быть не менее двух.

При осевом воздействии усилий на заклепочное или болтовое соединение распределение усилий между болтами или заклепками принимается равномерным и требуемое число заклепок рассчитывается по формуле

$$n = F / F_0 ,$$

где F - осевое продольное усилие, действующее на элемент конструкции;

F_0 - допускаемое осевое усилие на одну заклепку или чистый болт, определяемое из условий смятия или среза.

Из расчета на смятие:

$$[F_0] = d \Sigma \delta [\sigma_{см}] ,$$

где d - диаметр отверстия для заклепок или наружный диаметр болта;

$\Sigma \delta$ - наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении;

$[\sigma_{см}]$ - допускаемое напряжение смятия, принимаемое равным $2[\sigma]$ - для заклепочных $1,8 [\sigma]$ - для болтовых соединений.

Из расчета на срез :

$$[F_0] = n_c \frac{\pi d^2}{4} [\tau] ,$$

где n_c - число плоскостей среза; $[\tau]$ - допускаемое напряжение среза, принимаемое равным $0,85 [\tau]$ для заклепок $0,85 [\sigma]$ для чистых болтов.

В стыках изгибаемых элементов, например, в стенках балок, заклепки (болты) работают неравномерно, так как силы распределяются прямо пропорционально расстоянию от нейтральной оси. Схема распределения нагрузок показана на рисунке 9. При этом наиболее нагружены крайние заклепки (болты), усилия в которых принимаются равными допускаемому усилию F_0 .

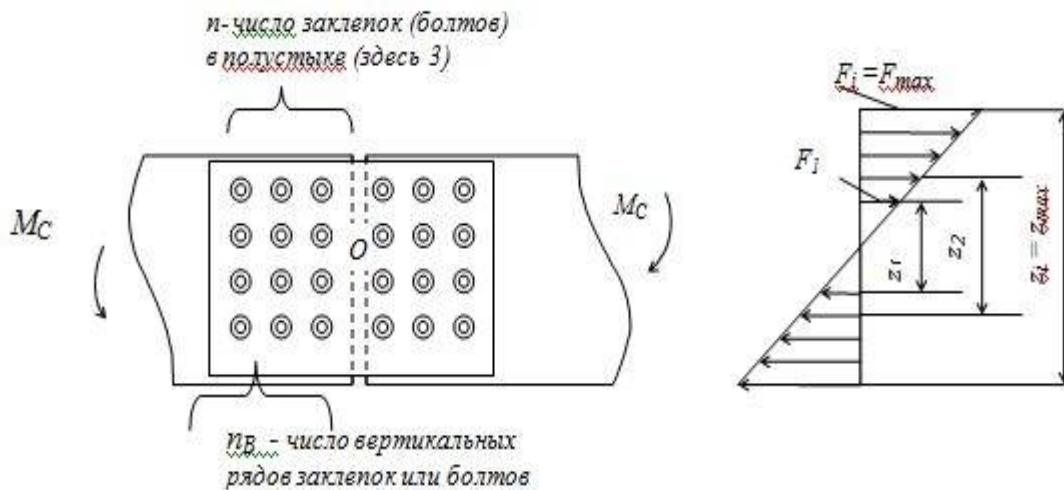


Рис. 9 - Схема распределения нагрузок в заклепочных (болтовых) соединениях

Число вертикальных рядов заклепок или болтов n_v принимается из условия равенства внешнего момента M_C , приходящегося на стенку балки, сумме моментов сил, воспринимаемых всеми заклепками полустыка относительно центра O .

2.5. Основные принципы технологии монтажа, эксплуатации и ремонта металлоконструкций

В качестве материала для крановых мостов применяют как малоуглеродистые, так и низколегированные стали. Для мостовых кранов общего назначения главные балки делают коробчатого сечения, из листа со стыковыми швами. По сравнению с профильным прокатом такие конструкции обеспечивают большее сопротивление усталостным напряжениям, чем конструкции из профильного проката, который соединяется угловыми швами, дающими высокую концентрацию напряжений [4].

Стыковые швы удовлетворяют условиям прочности при действии однократных наибольших напряжений, одновременно удовлетворяют и

условию сопротивления усталости при действии переменных напряжений. Сварные соединения, работающие на изгиб, рассчитываются по формулам, установленным для целого сечения.

Для обеспечения условия равнопрочности стыковые швы делают прямыми с проваром корня шва и выводом его за пределы стыка. При этом должна быть применена автоматическая, полуавтоматическая или ручная сварка электродами не ниже типа Э42, а также повышенные методы контроля качества (ультразвуковая дефектоскопия, магнитографические методы и пр., о которых подробнее будет сказано ниже). Заводские стыки отдельных элементов составной балки могут находиться в различных сечениях по ее длине или быть совмещены в одном сечении; монтажные стыки всегда совмещены, как показано на рисунке 10. Стыковые соединения стенок и поясов сварных балок осуществляют прямыми швами без накладок. Рекомендуется не совмещать в одном сечении стыки стенок и поясов [4].

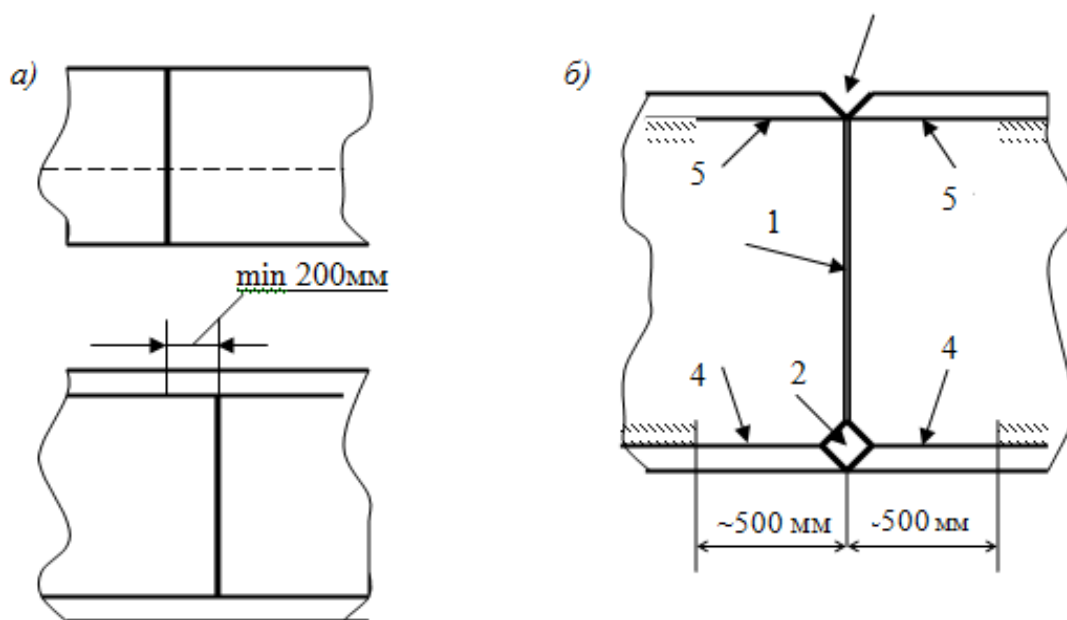


Рис. 10 – Стыки балок сварные: а – заводской; б - монтажный

Монтажные схемы крановых мостов бывают двух типов:

1) пролетное строение присоединяют к концевым балкам на заводе-изготовителе; в этом случае концевые балки имеют один или два (в зависимости от условий перевозки) монтажных стыка на чистых высокопрочных болтах или заклепках;

2) пролетное строение присоединяют к концевым балкам болтами при монтаже, при этом концевые балки делают без стыков. Этот вариант применяется для кранов легких и средних режимов работы.

В процессе эксплуатации крана необходимо выполнение технического обслуживания и ремонта, организация которых предусмотрена Единой системой планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий [5].

При осмотрах металлоконструкций ведут поиск трещин в элементах и швах, проверяют неподвижность заклепочных и болтовых соединений, обращают внимание на возможные общие и местные деформации элементов конструкции. При ремонте металлоконструкций кранов требуется применять марку стали по механическим характеристикам соответствующую или выше, чем марка, применяемая заводом-изготовителем.

Конструкции ремонтных сварных соединений, вставок и других элементов не должны снижать циклическую прочность соединений. В связи с этим недопустимы: резкие переходы сечений; сварные швы, сходящиеся под углом менее 60° ; сближение соседних швов менее чем на 50 мм; вставные элементы поясов и стенок длиной менее 200 мм; относительное смещение в балках поперечных швов поясов и стенок менее чем на 150 мм; а также смещение поперечных швов относительно диафрагм менее 50 мм [6].

Стыковые соединения представляют собой основной вид ремонтных сварных соединений для листов и сварных профилей, выполняют их в виде швов двусторонних или односторонних на остающейся подкладке по

ГОСТ 5264-80. При ремонте металлоконструкций кранов режимов 6К и более тяжелых следует применять по возможности не угловые, а стыковые швы. Сварка встык прокатных уголкового профиля не допускается, а их сварные соединения на накладках используют преимущественно для вспомогательных конструкций.

Сварные соединения на накладках применяют при ремонте металлоконструкций на месте установки при невозможности снять нагрузки от собственно массы, в частности, для главных балок мостовых кранов. Накладки служат для дополнительного усиления односторонних стыковых швов, а также при невозможности контроля шва физическими методами в тех случаях, когда их обязательность регламентирована. Следует применять накладки наименьшей возможной толщины, поскольку они существенно снижают циклическую прочность соединения.

При обнаружении трещины определяют границы ее распространения с обеих сторон, после чего по концам просверливают отверстия. Кромки трещины подготавливают под сварку в виде V-образной или U-образной разделки посредством воздушно-дуговой или газовой резки. Иногда бывает можно вырубить кромки зубилом. Трещины заваривают двусторонними или односторонними на подкладке стыковыми швами. Ремонтные стыковые швы рекомендуется зашлифовывать со всех доступных сторон вровень с основным металлом. Трещины в двустенчатых балках, находящиеся в пределах пояса или стенки, но не вблизи ребер жесткости, могут быть вырезаны с последующей вваркой вставки [6].

Балочные двустенчатые конструкции, подвергшиеся местным деформациям или разрушениям, восстанавливают вваркой новых секций (панелей). Такие секции изготавливают в виде пространственных полностью законченных узлов или собирают на месте установки из плоских элементов.

2.6. Виды и средства контроля металлоконструкций.

2.6.1. Характеристика дефектов сварных соединений

Дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативно-технической документацией. В сварных соединениях металлоконструкций различают дефекты наружные, поверхностные и внутренние.

Наружные дефекты – это неправильная форма швов, неравномерность шва, наплывы, натеки, углубления между валиками, чешуйчатость. Неравномерность или неправильная форма швов являются следствием нарушения режимов сварки или недостаточной квалификации персонала. Сварочные дефекты металлоконструкций возникают как в процессе подготовки изделий под сварку, так и в процессе сварки. При подготовке и сборке наиболее характерные виды дефектов – это неправильный угол скоса кромок, непостоянство зазора между кромками, несовпадение стыкуемых плоскостей кромок, загрязнения и т.п. Правильность сборки контролируют внешним осмотром и геометрическими измерениями с помощью шаблонов и специализированного инструмента [7].

Поверхностные дефекты (несплошности) – это трещины всех видов, включая как на шве, так и на основном металле; подрезы вдоль границы основного и наплавленного металла; включения (полости, заполненные шлаком, газом, воздухом); кратеры, образующиеся при обрыве дуги; свищи, поры, прожоги. Трещины всех видов и направлений, включая основной металл в зоне термовлияния, *не допускаются*. Подрезы вдоль границы основного и наплавленного металла (конусообразные углубления) уменьшают сечение шва, являются концентраторами напряжений и также не допускаются нормами.

Внутренние дефекты могут быть объемными, компактными и протяженными. Небольшие единичные включения не опасны. К внутренним дефектам относятся газовые включения (поры), шлаковые включения, металлические включения (при аргонно-дуговой сварке - частички вольфрама от электрода). Поры бывают одиночные, групповые и цепочки;

последние наиболее опасны, т.к. являются концентраторами напряжений и снижают прочность. Вертикальные поры иногда образуют сквозные свищи, выходящие на поверхность. Самые опасные дефекты – это трещины, т.к. они склонны к развитию, особенно при многократных нагрузках. Внутренние трещины могут возникать в процессе затвердевания металла или после сварки в процессе остывания [7].

При эксплуатации оборудования различают следующие виды дефектов:

1). Усталостные трещины. Возникают в местах концентрации напряжений – при резких переходах сечений, в результате действия переменных нагрузок.

2). Трещины. Разрывы в поверхностном слое при действии высоких одноразовых напряжений, превышающих предел прочности. Чаще образуются в местах с остаточными напряжениями, вызванными деформацией при изготовлении.

3). Коррозионные повреждения (язвенные, очаговые, сплошные). Характеризуются глубиной и размерами площади. Вызывают утонение металла и способствуют образованию трещин.

4). Механические повреждения (забоины, вмятины, износ).

5). Формоизменение (деформация, коробление, прогиб). Возникают при пиковых режимах, перепадах температур и т.п.

В процессе эксплуатации металлоконструкций под действием таких факторов, как переменные нагрузки, деформации, перепады температур, коррозия, изначально допустимые дефекты могут развиваться, увеличиваться и в конечном счете привести к аварии. Чтобы прочность металлоконструкций не снижалась вследствие развития дефектов необходимо периодически производить контроль сварных соединений. Наружные дефекты можно выявить при внешнем осмотре. Внешнему осмотру, или, как его называют, визуальному контролю, подвергают сварной шов и зону прилегающего к нему основного металла на расстоянии

не менее 20 мм от границы шва по всей протяженности сварного соединения с двух сторон (в случае доступности для осмотра). Осмотр производят при хорошем освещении невооруженным глазом или через лупу, а для определения внутренних дефектов применяют неразрушающие методы контроля.

2.6.2. Способы неразрушающего контроля сварных соединений

Для выявления внутренних дефектов существуют государственные стандарты, включающие 10 видов неразрушающего контроля, среди которых радиационные (радиационная интроскопия, радиография, рентгенография, томография), акустические (ультразвуковые методы, акустическая эмиссия, звуковидение), электромагнитные, тепловые методы, капиллярная дефектоскопия сварных швов [7].

Радиографический контроль основан на использовании ионизирующего излучения, благодаря чему он позволяет получать изображения внутренней структуры сварного соединения. Интенсивность излучения, прошедшего сквозь контролируемое изделие, меняется в зависимости от плотности материала и толщины и по результатам интенсивности судят о наличии дефектов. Радиографический контроль применяют для выявления в сварных соединениях внутренних дефектов: трещин, непроваров, усадочных раковин, пор, шлаковых включений. Обнаружение и регистрация дефекта сварного шва осуществляется детекторами, в качестве которых используют фоточувствительную пленку, фотобумагу или полупроводниковую пластину. Рентгеновские установки бывают непрерывного действия и импульсные. Импульсные аппараты типа МИРА, НОРА и др. характеризуются меньшими размерами, обладают повышенной технологической маневренностью, что позволяет использовать их в условиях монтажа металлоконструкций. Современные переносные аппараты: импульсный «Арина – 3» или постоянного потенциала – «Ратмир-190»,

«РПД-200» экспонируют сварной шов на пленку, после обработки получают снимок дефекта, который просматривается на негатоскопе; дефекты шва определяются по плотности затемнения.

Для контроля сварных соединений также широко применяют гамма-дефектоскопы, в которых используются источники гамма-излучения. Такой аппарат представляет собой радиационно-защитное устройство, снабженное приводом для управления перемещением гамма-источника и перекрытием пучка излучения. Гамма-дефектоскопы бывают лабораторные, цеховые, полевые; переносные и стационарные. Защитные блоки радиационных головок выполняют из свинца или сплавов на основе вольфрама. Различные виды дефектов имеют на рентгенограммах определенное изображение, характерное для данного дефекта, которое впоследствии расшифровывается оператором.

Недостатки данного метода – необходимость выполнения строгих защитных мер в связи с повышенной опасностью для обслуживающего персонала, а также невозможность в ряде случаев идентификации дефектов (в зависимости от их размеров, расположения).

При неразрушающем контроле сварных швов около 50% выполняют акустическими методами, т.е. при помощи ультразвуковых волн. Эти методы считаются более безопасными по сравнению с радиационными, а также наиболее эффективными при обнаружении тонких трещин внутри шва или металла. Другие методы более чувствительны к поверхностным дефектам.

Акустические свойства материалов (сопротивление) очень сильно различаются, поэтому ультразвуковые волны с определенной длиной волны проходят через металл, как направленные лучи, а на границе металл-воздух отражаются. На этом свойстве основано действие прибора, называемого дефектоскопом. Ультразвуковой дефектоскоп представляет собой прибор для излучения и приема ультразвуковых колебаний, а также для определения координат выявленных дефектов. В качестве датчика

используются пьезоэлектрические преобразователи, которые преобразуют электрический сигнал от излучателя в механические (ультразвуковые) колебания. При контроле сварных швов импульс, посланный излучателем, проходит сквозь металл и отражается от противоположной стороны; при этом на экране дефектоскопа регистрируется так называемый донный сигнал. Эхо-сигнал, отраженный от дефекта, например, от трещины, приходит на экран раньше донного сигнала и регистрируется на экране в виде импульса с большей амплитудой. Доля отраженной энергии тем больше, чем больше разность акустических сопротивлений сред. Такой эхо-метод позволяет контролировать сварные соединения при одностороннем доступе к ним. По величине отраженного эхо-сигнала можно составить представление о размере дефекта. Для контроля используют дефектоскопы типа УД2-70, УД3-103 и др. [15,20]. Ультразвуковую дефектоскопию широко применяют для проверки качества сварных соединений из низкоуглеродистых и низколегированных сталей. При толщине листов более 80 мм этот способ наиболее надежный для выявления внутренних дефектов.

Дефекты, обнаруженные ультразвуковым контролем и не обнаруженные радиографическим методом, должны классифицироваться как трещины или тонкие непровары. В установках для ультразвукового контроля сварных швов применяют автоматические устройства, предназначенные для управления работой преобразователей, слежением за положением преобразователя относительно сварного шва, непрерывностью контакта и фиксации сигналов о наличии дефектов.

Кроме описанных выше методов для обнаружения поверхностных дефектов используются методы магнитопорошковой дефектоскопии или капиллярной дефектоскопии. Для первого метода используют суспензию на основе порошка (железные опилки), обладающего способностью к намагничиванию. Материал наносят на область контроля и создают магнитное поле, под действием которого намагниченные частицы

располагаются в определенном порядке вдоль трещины; при этом наружная трещина становится видимой. При втором методе на поверхность наносят проникающий раствор - пенетрат, который заполняет все дефекты. Пенетрат позволяет изменять светоотдачу дефектных участков. Затем наносят проявитель, а после него – очиститель. Через определенное время поверхность промывают, в результате в зоне контроля дефекты становятся видимыми [8].

3. ОСНОВЫ РАСЧЕТА КРАНОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

3.1. Нагрузки на металлоконструкции кранов

3.1.1. Режимы работы кранов

Степень использования крана по времени характеризуется коэффициентами использования его в течение суток или в течение года

$$k_c = T_c / 24 \quad \text{или} \quad k_z = T_z / 365 ,$$

где T_c и T_z - число часов и число дней работы крана в течение суток

и в течение года, соответственно.

$T_z = 250$ при двух выходных днях в неделю, 300 – при одном, 360 – при непрерывном производстве.

Величины этих коэффициентов задаются при проектировании [4].

Расчет металлических конструкций производится для трех вариантов нагрузки (режимов работы):

I - нормальные нагрузки *рабочего* состояния крана при эксплуатации в нормальных условиях, плавные пуски и торможения, нормальное состояние подкранового пути, груз, соответствует назначению крана. Если в элементах металлоконструкций нагрузки вызывают большое число циклов напряжений, то краны тяжелого и весьма тяжелого режима проверяются на выносливость по эквивалентным нагрузкам.

II - максимальные нагрузки *рабочего* состояния крана, возникающие в тяжелых условиях при работе с максимальным грузом, максимальной силе ветра, неудовлетворительном состоянии подкранового пути, наибольшем крене и т.п. Эти нагрузки возникают редко и не вызывают большого числа циклов усталостных напряжений, поэтому расчет по ним производится только на прочность.

III - максимальные нагрузки *нерабочего* состояния крана, вызываемые его собственным весом и ураганным ветром. По этим нагрузкам производится расчет на прочность и устойчивость. Для расчета

металлоконструкций этот случай имеет значение только для кранов большой высоты и с особо большим вылетом (строительных, порталных).

Кроме перечисленных могут иметь место случаи действия специальных нагрузок, например, от снега и обледенения, монтажных нагрузок, сейсмических и т.п.

3.1.2. Виды нагрузок

1. Собственный вес конструкций и расположенного на них оборудования. Обычно считается распределенным по длине равномерно для сплошных конструкций, а для решетчатых – приложенным в узлах.

2. Вес груза (максимальная номинальная масса Q – называется грузоподъемностью крана). $G = Q g$, где $g = 9,8 м/с^2$.

Степень использования крана по грузоподъемности и по времени зависит от условий эксплуатации. Расчет на выносливость производят по эквивалентной величине груза:

$$Q_{\text{э}} = \Psi_{\text{э}} Q,$$

где $\Psi_{\text{э}}$ - коэффициент эквивалентности, зависящий от режима нагружения (легкий, средний, тяжелый и весьма тяжелый) [3, с.47]; значения его приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов эквивалентности грузоподъемности кранов

Группа режима по правилам Ростехнадзора	Л	С	Т	ВТ
Группа режима по ГОСТ 25546-82 и ИСО 4301-80	1К – 3К	4К, 5К	6К, 7К	8К
Значение $\Psi_{\text{э}}$	Расчет на усталость не производится	0,7 – 0,6	0,8 – 0,7	1,0
Коэффициент $\Psi_{\text{э}}$ для порталных				
- I вар. нагрузки	-	-	1,15	1.25
- II вар. нагрузки	1,1	1,2	1,3	1,5

3. Ветровые нагрузки. Являются горизонтальной силой и определяются по формуле $F_B = p_B S_H$,

где p_B - удельное давление ветра, принимаемое для рабочего состояния крана при расчете на прочность элементов любой геометрической формы равным: 400 Н/м^2 – для плавучих и портовых кранов; 250 Н/м^2 – для всех остальных;

S_H - наветренная площадь груза, м^2 .

4. Снеговая нагрузка определяется по горизонтальной проекции воспринимающей поверхности и принимается для Европейской части России и Сибири 1000 Н/м^2 .

5. Гололед образуется при температуре от 0 до -5°С , образует корку толщиной до 1...1,2 см. Удельный вес льда 9000 Н/м^2 .

При нормальных режимах работы снег и гололед не учитывается.

6. Инерционные нагрузки возникают:

- при пуске в ход и торможении механизмов;
- при перемещении с переменной скоростью во время установившегося движения (например, качание стрелы);
- при движении по неровному пути;
- при качке плавучих сооружений.

7. При работе механизма подъема могут иметь место два случая:

1 случай - резкий отрыв груза от земли (подъем с подхватом);

2 случай - разгон при подъеме или торможение при опускании груза на весу.

Динамика учитывается коэффициентом, на который умножается вес груза, включая вес грузозахвата. Тогда усилие в канате будет равно:

$$S_{max} = \Psi Q_K / i, \text{ где } i - \text{ кратность полиспаста подвески}$$

груза.

Коэффициент динамичности Ψ_1 определяют для мостовых кранов по формуле: - для I варианта нагрузки $\Psi_1 = 1 + 1,25 V$;

- для II варианта нагрузки $\Psi_{11} = 1 + 2,4 V$;

(V – номинальная скорость подъема, м/с)

8. Раскачивание груза. Вызывает отклонение подъемных канатов от вертикали, которое следует учитывать при расчете металлоконструкций поворотных кранов. В результате этого отклонения появляется горизонтальная составляющая T натяжения S подъемных канатов, приложенная к концу хобота или стрелы. Расчетная схема изображена на рисунке 11.

$$T = Q_K \operatorname{tg} \alpha ,$$

где Q_K - вес груза и грузозахватного устройства;

α - угол отклонения канатов от вертикали.

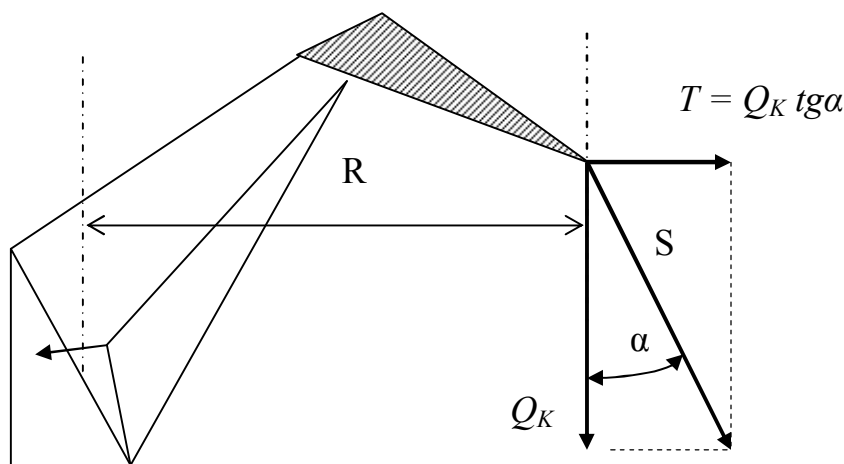


Рис. 11 - Горизонтальная сила T , возникающая при отклонении грузовых канатов от вертикали

Ориентировочно угол можно находить по формулам:

для 1-го варианта нагрузок $\alpha_1 \approx (0,3 \dots 0,5) \alpha_2$,

для 2-го варианта нагрузок $\operatorname{tg} \alpha_2 \approx 0,05 V_1$,

где V_I - окружная скорость вращения конца хобота (стрелы) при вращении крана, м/с.

9. Монтажные нагрузки. Возникают во время монтажа; в проекте монтажа должно быть указано максимальное давление ветра, при котором можно вести монтаж.

3.2. Методики расчета металлических конструкций

3.2.1. Расчет по предельному состоянию

Для стальных конструкций установлено два расчетных предельных состояния [4]:

1) – по несущей способности (прочности, устойчивости или выносливости); этому состоянию должны удовлетворять все стальные конструкции.

2) – по развитию недопустимых деформаций (прогибов, перемещений или колебаний); этому состоянию должны удовлетворять конструкции, в которых величина деформаций или колебаний может ограничить возможность их эксплуатации.

1) - По первому условию потеря несущей способности происходит, когда предельное напряжение материала $\sigma_{пр}$ достигает предела текучести σ_T . Условие прочности, как известно из сопротивления материалов, в общем случае имеет вид:

$$\sigma_{пр} \leq \sigma_T .$$

Напряжение определяют в зависимости от видов нагрузки – изгиб, кручение, растяжение, сжатие сдвиг, или сложное нагружение, т.е. одновременное действие нескольких нагрузок. Но в отличие от методик, принятых в сопротивлении материалов, при расчете крановых металлоконструкций СНиПами установлены поправочные коэффициенты, учитывающие некоторый запас по сравнению с нормативными нагрузками.

Связь нормативного значения предела текучести σ_H с расчетным значением определяется коэффициентом запаса - n

$$\sigma_H \leq \sigma_T / n; \quad \text{где } n = \eta / \psi m,$$

где m - коэффициент условий работы, устанавливается техническими условиями на проектирование конструкции;

η - коэффициент перегрузки; вводится для учета возможности превышения фактической эксплуатационной нагрузки по сравнению с нормативной; в этот коэффициент могут входить:

$\eta_1 = 1,1$ для учета собственного веса конструкций с оборудованием;

$\eta_2 = 1,05 \dots 1,4$ - для веса груза;

$\eta_3 \leq 2,0$ - для учета более резких разгонов и торможений;

$\eta_4 \leq 2,0$ - для учета раскачивания груза;

$\eta_5 \leq 1,2$ - для ветровой нагрузки;

$\eta_6 = 1,4$ - для снеговой нагрузки.

ψ - коэффициент однородности стали или материала; для малоуглеродистых сталей (Ст.0-Ст.5) принимается равным 0,9; для низколегированных - равным 0,85.

2) - *Второе предельное состояние* для элементов, подверженных действию осевой силы, требует, чтобы расчетная гибкость элемента не превышала допустимой $[\lambda]$, значения которой принимаются по таблице 2 [3].

$$\lambda = l / r_{min} \leq [\lambda],$$

где l - расчетная длина элемента, например, опоры (ноги портала, козлового крана, перегружателя, корпуса стрелового крана);

r_{min} - минимальный радиус сечения элемента.

Для изгибаемых конструкций должно выполняться условие:

$$f/l \leq [f/l] = 1 / n_o,$$

где f - абсолютный прогиб;

l - пролет балки (моста).

Таблица 2

Величины наибольшей допустимой гибкости

Наименование элементов конструкций	Сжатые элементы		Растянутые элементы	
	Сталь	Алюмин. сплавы	Сталь	Алюмин. сплавы
Пояса главных ферм	120	80	150	120
Одностержневые конструкции стрел, колонн, мачт	120	80	150	120
Остальные стержни главных ферм и пояса вспомогательных ферм	150	100	200	180
Все прочие стержни	200	130	250	200

Кроме того, для некоторых конструкций, например, для главных балок крановых мостов, должно выполняться условие ограничения времени затухания колебаний, т.е. $t_p \leq t$, где t_p и t - расчетное и допускаемое время затухания колебаний (принимается из справочников).

3.2.2. Расчет по допускаемым напряжениям

Этот метод является частным случаем предыдущего, но по нему ведутся почти все расчеты кранов, за исключением строительных башенных кранов и подкрановых балок. Последние обязательно должны проверяться по предельным состояниям. Балки рассчитываются на прочность, жесткость и устойчивость. При длительном действии повторяющихся нагрузок производится расчет на выносливость по усталостным напряжениям (краны тяжелого и весьма тяжелого режимов работы).

Если коэффициенты η , ψ , m , рассмотренные выше, принять одинаковыми, т.е. n – постоянный коэффициент запаса прочности для всех элементов конструкции, для всех условий работы, тогда условие прочности (формула 1) примет вид: $\sigma \leq \sigma_T / n \leq [\sigma]$. Коэффициент запаса прочности принимается по таблице 3 в зависимости от условий работы и материала конструкции [3].

Величина допускаемых напряжений принимается равной:

- для среза $[\tau] = 0,6 [\sigma];$

- для смятия торцевой поверхности (при наличии пригонки), например для строганных верхних кромок диафрагм в коробчатых балках

$$[\sigma_{см}] = 1,5 [\sigma];$$

- для смятия местного при плотном касании, как например, в шарнирах стрел

$$[\sigma_{см}] = 0,75 [\sigma].$$

Таблица 3

Значения коэффициентов запаса прочности n

Рассчитываемые конструкции	Расчетные случаи		
	I. Основные сочетания нагрузок: постоянно действующие, регулярно возникающие	II. То же, что I плюс дополнительные, нерегулярно возникающие (ветер, монтажные нагрузки)	III. Особые сочетания нагрузок, состоящие из: I и II - (обычно не все из них), с особыми воздействиями (ударная нагрузка, аварийная, сейсмическая)
Из стали Ст.3	1,3	1,4	1,3
Из низколегированной стали	1,4	1,4	1,3

Условие прочности на изгиб балок выражается формулой

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{W_{x-x}} \leq [\sigma_u]$$

а условие выносливости

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{\gamma W_{x-x}} \leq [\sigma_u]$$

где γ - коэффициент, учитывающий отношение предела выносливости к нормативному пределу текучести, определяемый по СНиП [3].

Для составных балок необходимо проверить еще и касательные напряжения в сечениях с наибольшей перерезывающей силой

$$\tau = \frac{F_{II} S}{J'_{x-x} \cdot 2 \delta_c} \leq [\tau]$$

Для приближенного расчета можно допустить, что вся перерезывающая сила воспринимается равномерно только стенкой балки и пользоваться формулой

$$\tau = \frac{F_{II}}{H_K \cdot 2 \delta_c} \leq [\tau]$$

где $[\tau]$ - допустимое напряжение среза.

Расчет на жесткость в условиях статической нагрузки сводится к определению относительного прогиба (отношения прогиба f к пролету l) от действия подвижной нагрузки, например тележки с грузом. Величина его не должна превышать допустимых нормами проектирования значений, приведенных в таблице 4.

Таблица 4

Значения предельного относительного прогиба металлоконструкций

Элементы металлоконструкций	$[f/l]$
Главные балки и фермы мостовых электрических кранов	1/700
Главные балки и фермы ручных кранов	1/400
Подкрановые балки и фермы:	
для ручных кранов	1/500
для электрических кранов грузоподъемностью $Q < 50$ т	1/600
для электрических кранов грузоподъемностью $Q \geq 50$ т	1/750
Пути кран-балок	1/500
Монорельсовые пути	1/400

3.3. Расчет металлоконструкций двухбалочного мостового крана

3.3.1. Исходные данные. Основные соотношения размеров балок

Для расчета на прочность можно выбрать любую из основных металлоконструкций: мост (пролетную часть), раму тележки, опоры портала, стрелу. Исходные данные, необходимые для расчета: грузоподъемность, режим работы крана, вес отдельных элементов, материал конструкции.

В качестве примера рассматривается металлоконструкция двухбалочного моста, схема которого приведена на рисунке 3 (из аналогичных конструкций состоят мосты козловых кранов).

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ РАЗМЕРОВ ГЛАВНЫХ БАЛОК МОСТА:

1. Пролет подкрановых путей - L . При проектировании служит главным исходным размером.
2. База крана – C . Принимается в пределах: $C = (0,17...0,22 L)$, что обеспечивает движение кранового моста без перекосов.
3. Колея тележки – A . Принимается в пределах $A = (0,08...0,1) L$.
При больших высотах подъема в связи с увеличением габаритов барабана размер A принимают до $0,15L$.
4. Скосы в нижних поясах пролетных балок принимают в пределах $0,15 L$ для снижения веса и удобства стыковки с концевыми балками.
5. Высота концевой балки H_K для предварительной компоновки принимается в пределах $0,5 H$, а ее ширина - D – принимается в зависимости от расстояния между полубуксами колес.

Для предварительной компоновки элементов коробки двухбалочного моста (мостового крана, перегружателя, козлового крана) принимаются следующие соотношения [2]:

$$\text{Высота балки (общая)} \quad H = (1/16 \dots 1/20) L ;$$

$$\text{Ширина балки} \quad B = (0,5 \dots 0,3) H \geq 350 \text{ мм} ;$$

$$\text{Толщина пояса} \quad \delta_{II} = 0,02 B \geq 5 \text{ мм} ;$$

Толщина стенки $\delta_c = 0,006 H \geq 5 \text{ мм}$.

Определив основные размеры балок моста, можно выполнить общую компоновку, после чего производятся расчеты на прочность и выносливость по максимальным нагрузкам рабочего состояния крана. При этом если принятые решения не соответствуют условиям прочности, то необходимо проработать иной вариант металлоконструкции: изменить размеры балок, профили сечений, материалы, виды сварных швов.

Прочность сварных швов монтажных стыков принимается равной прочности основного металла моста.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА:

1. Режим работы – средний (вариант нагружения – II, см. раздел 3.1.1)
2. Материал главных и торцевых балок – Ст.3.

Основные допускаемые напряжения:

- на растяжение, сжатие, изгиб $\sigma_T = 210 \text{ МПа}$;
- на срез $\tau = 130 \text{ МПа}$;
- на смятие торцов (при наличии пригонки) $\sigma_{см} = 320 \text{ МПа}$;
- на смятие при плотном касании $\sigma_{см} = 160 \text{ МПа}$;

Условие прочности : $\sigma \leq \sigma_T / n = [\sigma]$,

где σ_T – предел текучести, $n = 1,3 \dots 1,4$ - коэффициент запаса прочности (таблица 2 - для случаев I, II, III).

$$[\sigma] = 210 / 1,3 = 161 \text{ МПа}; [\sigma_{см}] = 160 / 1,3 = 124 \text{ МПа}$$

3. Вес груза $Q = 20 \text{ т}$; Вес тележки $G_T = 0,3Q = 6 \text{ т}$; (для предварительных расчетов); Вес моста $G_M = 16 \text{ т}$ (принимаем равным $0,8 \dots 1,2 Q$) [2];

4. Пролет $L = 12 \text{ м}$;

5. Высота подъема груза $h = 6,2 \text{ м}$;

6. Скорость подъема – $15 \text{ м/мин} / 60 \text{ с} = 0,25 \text{ м/с}$.

ОПРЕДЕЛЯЕМ ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ

(компоновочные)

- База крана $C = 0,2 L = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ м}$.
- Колея тележки $A = 0,1 L = 1,2 \text{ м}$.
- Скосы $0,15 L = 0,15 \cdot 12 = 1,8 \text{ м}$.
- Высота главной балки (общая) $H = 1/16 L = 12 / 16 = 0,7 \text{ м}$
- Высота концевой балки $H_K = 0,5 H = 0,35 \text{ м}$
- Ширина балки $B = 0,4 H = 0,4 \cdot 1,2 = 0,48 \text{ м}$ ($\geq 350 \text{ мм}$)
- Толщина пояса $\delta_n = 0,02 B = 0,02 \cdot 0,48 = 9,6$ принимаем 10 мм
- Толщина стенки $\delta_C = 0,006 H = 4,2 \text{ мм}$ - принимаем 5 мм .

3.3.2. Расчет главной балки на прочность

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ГЛАВНОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ:

Расчетная схема с указанием размеров балки и действующих сил приведена на рисунке 12.

Определяем коэффициент динамичности исходя из условий работы (раздел 3.1.2.):

$$\Psi_{11} = 1 + 2,4 V = 1 + 2,4 \cdot 0,25 \text{ м/с} = 1,6.$$

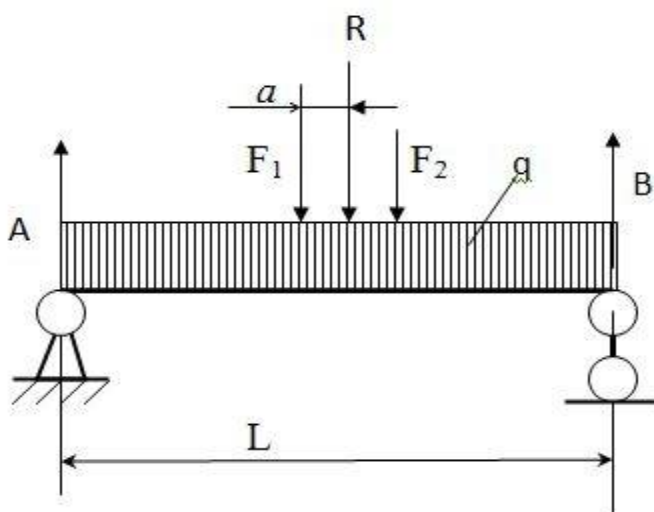


Рис. 12. Расчетная схема для главной балки

R – равнодействующая; расположена посередине базы тележки

Нагрузка на одну половину двухбалочного моста:

$$R = 0,5 (\Psi \cdot Q + G_T) \cdot 9,8 = 0,5 (1,6 \cdot 20\,000 + 6\,000) \cdot 9,8 = 186\,200 \text{ Н.}$$

Распределенная нагрузка:

$$q = 0,5 G_M \cdot 9,8 / L = 0,5 \cdot 16\,000 \cdot 9,8 / 12 = 6\,533 \text{ Н.}$$

Максимальный изгибающий момент, действующий на балку, когда тележка находится посередине пролета [2]:

$$M_{\max} = R \frac{(L - a)^2}{4L} + q \frac{L^2}{8},$$

где a - половина базы тележки

$$a = A / 2 = 1,2 / 2 = 0,6 \text{ м}$$

После подстановки числовых значений получаем :

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 186\,200 \frac{(12 - 0,6)^2}{4 \cdot 12} + 6\,533 \frac{12^2}{8} = \\ &= 621724 \text{ Нм} \end{aligned}$$

Напряжения изгиба:

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{W_{x-x}} \leq [\sigma_u].$$

Определяем момент сопротивления сечения одной балки моста относительно оси $x-x$:

$$W_{x-x} = 2 J_{x-x} / H$$

Осейвой момент инерции одной балки моста:

$$J_{x-x} = 2 \frac{B \cdot \delta_n^3}{12} + 2 B \delta_n \left(\frac{h_c + \delta_n}{2} \right)^2 + 2 \frac{\delta_c h_c^3}{12},$$

$h_c = H - 2\delta_n = 0,7 \text{ м} - 2 \cdot 0,01 = 0,68 \text{ м}$ - высота стенки балки.

Произведя расчеты, (размеры удобнее перевести в см), получим:

$$J_{x-x} = 137186 \text{ см}^4, \quad \text{тогда :}$$

$$W_{x-x} = 2 \cdot 137186 \text{ см}^4 / 48 \text{ см} = 5716 \text{ см}^3 = 5716 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Вычисляем напряжение изгиба:

$$\sigma_u = \frac{621724 \text{ нм}}{5716 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} = 109 \text{ МПа} \leq [\sigma_u].$$

Условие прочности на изгиб главной балки выполняется.

ПРОВЕРКА ГЛАВНОЙ БАЛКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Нижний пояс балки может подвергаться сжатию от продольного усилия (торможение тележки) и выпучиваться в сторону; при этом получаем кривой изгиб, изображенный на рисунке 13.

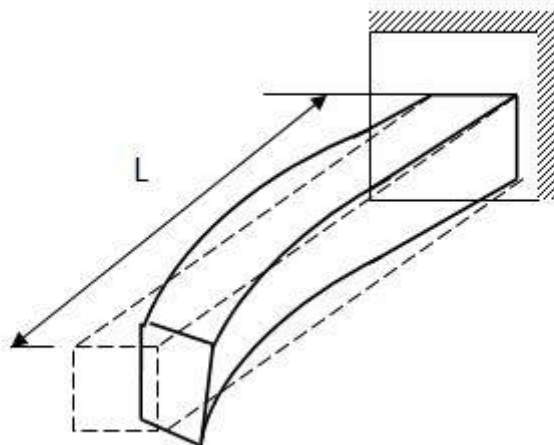
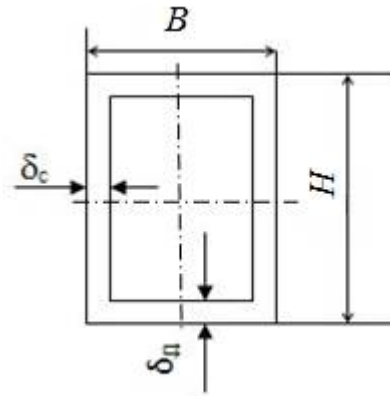


Рис. 13 – Деформация балки под действием продольной силы

Коробчатые балки при равных площадях поперечных сечений имеют осевой момент инерции $J_K \gg$, чем двутавровые, поэтому при сжатии они устойчивее. Для коробчатых балок осевой момент инерции можно вычислять по формуле [6] :

$$J_K = \frac{4B^2H^2}{2(B/\delta_{II} + H/\delta_C)}$$



Сжатый пояс балки можно закреплять дополнительно не только на концах, но и по длине, (если пролет большой). Также, если есть настил, препятствующий повороту балок, то расчет на устойчивость не производится.

Определяем напряжение от скручивания [2]

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_{\sigma} W} \leq [\sigma] ,$$

Для режима *IIa* - торможение при передвижении [4] :

$$M = qL^2 / 8 ,$$

где $q = 0,5 G_M / L$ (см. рис. 12);

$$W = 2J_K / H ;$$

$\varphi_{\sigma} = 0,85$ – коэффициент уменьшения допускаемых напряжений.
(Определяется из СНиП).

3.3.3. Расчет торцевых балок

РАСЧЕТ ТОРЦЕВЫХ БАЛОК НА ИЗГИБ

Торцевые балки изгибаются в вертикальной плоскости под действием опорных давлений главных балок. Эти давления можно считать равными для обеих сторон моста [3]. Поперечная сила распределяется поровну между опорами главных балок, как показано на рисунке 14.

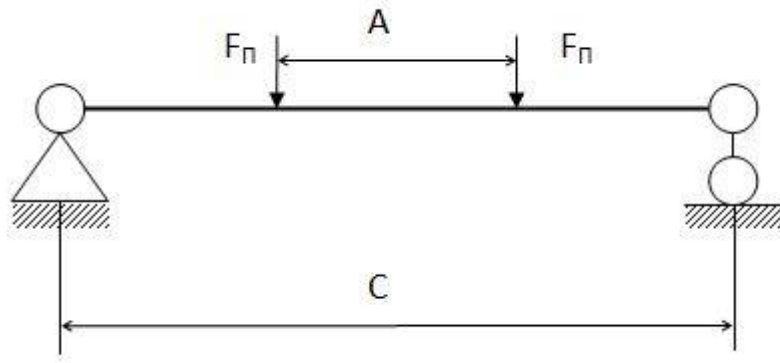


Рис. 14. Расчетная схема для торцевой балки

Величина поперечной силы рассчитывается по формуле

$$F_{II} = \frac{G_M}{4} + \frac{\psi_{II} Q + G_T}{2};$$

$$F_{II} = \frac{16}{4} + \frac{1,6 \cdot 20 + 6}{2} = 4 + 24 = 28 \text{ т} \approx 280000 \text{ Н}.$$

Изгибающий момент для торцевой балки двухбалочного моста:

$$M_{II} = 0,5 F_{II} (C - A),$$

где C - база крана, A - колея тележки (см. раздел 3.3.1)

$$M_{II} = 0,5 \cdot 280\,000 (2,4 - 1,2) = 168 \text{ кН м}.$$

Осей момент инерции торцевой балки (высота $H_K = 0,35 \text{ м} = 35 \text{ см}$) рассчитываем по формуле

$$J_{x-x} = 2 \frac{B \cdot \delta_n^3}{12} + 2 B \delta_n \left(\frac{h_c + \delta_n}{2} \right)^2 + 2 \frac{\delta_c h_c^3}{12}$$

$$J_{x-x} = 2 \frac{48 \cdot 1,0^3}{12} + 2 \cdot 48 \cdot 1,0 \left(\frac{35 + 1,0}{2} \right)^2 + 2 \frac{1,0 \cdot 35^3}{12} = 34685 \text{ см}^4$$

Момент сопротивления сечения:

$$W_{x-x} = 2J_{x-x} / H_K = 2 \cdot 34685 \text{ см}^4 / 35 \text{ см} = 1982 \text{ см}^3 .$$

Напряжения изгиба в торцевой балке:

$$\begin{aligned} \sigma_u &= \frac{M_{\max}}{W_{x-x}} = \frac{168000 \text{ Н м}}{1982 \text{ см}^3 \cdot 10^6 \text{ м}^3 / \text{см}^3} = \\ &= 85 \cdot 10^6 \text{ Нм} = 85 \text{ МПа} \leq [\sigma_u]. \end{aligned}$$

Торцевые балки подвергаются еще и изгибу в горизонтальной плоскости при торможении тележки и при перекосе моста, поэтому при их расчете принимают повышенный запас прочности $n = 1,7$. Допустимые напряжения на изгиб для нашего примера: $[\sigma_u] = 210 \text{ МПа} / 1,7 = 131 \text{ МПа}$.

Сравнение расчетного напряжения с допустимым показывает, что условие прочности выполняется.

3.3.4. Проверка соединений металлоконструкции на срез

Для сварных балок обязательна еще проверка касательных напряжений с наибольшей перерезывающей силой, т.е. в области присоединения главных балок к торцевым, когда тележка установлена в крайнем положении. Торцевые балки служат опорами для главных балок, при этом полагаем, что нагрузка от веса моста между четырьмя опорами распределена равномерно, а вес тележки с грузом воспринимается одной торцевой балкой.

Расчетная схема изображена на рисунке 15. Для двухбалочного моста перерезывающая сила будет равна:

$$F_{II} = R_{A \max} = \frac{G_M}{4} + \frac{\psi_{II} Q + G_T}{2}$$

$$F_{II} = \frac{16}{4} + \frac{1,6 \cdot 20 + 6}{2} = 4 + 24 = 28 \text{ м} = 280000 \text{ Н}$$

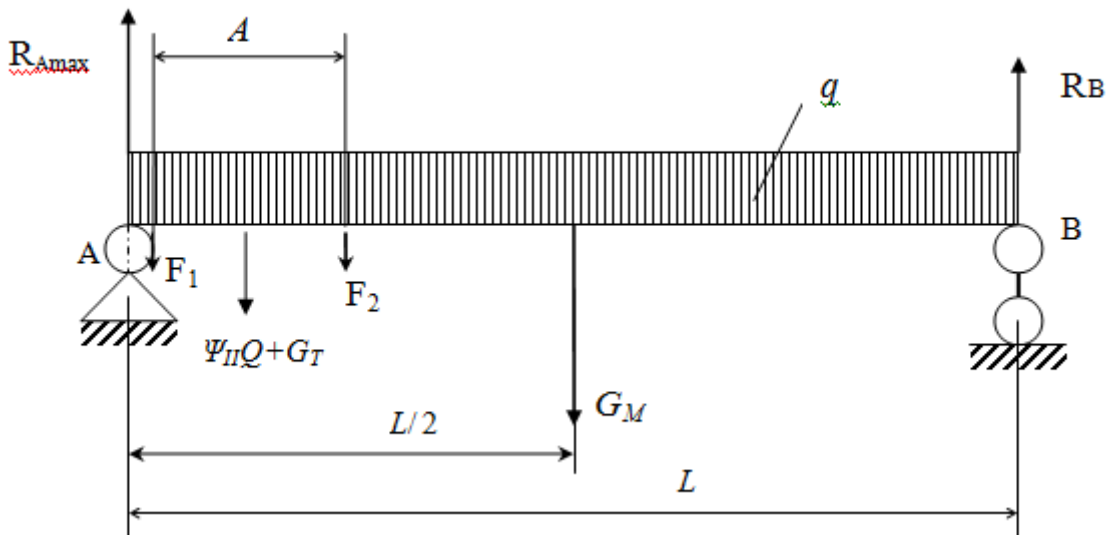


Рис.15 – Расчетная схема для проверки на срез.

F_1, F_2 – силы давления колес тележки;

Для коробчатого сечения напряжение можно рассчитывать упрощенно по формуле:

$$\tau = \frac{F_{II}}{H_K \cdot 2 \delta_c} \leq [\tau];$$

$$\tau = \frac{280\ 000}{0,35 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 80 \cdot 10^6 \text{ Па} = 80 \text{ МПа} \leq [\tau],$$

где допускаемое напряжение на срез $[\tau] = 130 / 1,3 = 100 \text{ МПа}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андрианов Е.Н. Металлические конструкции ПТМ. Методические указания по курсовому проектированию металлических конструкций ПТМ. С-Пб, 2004., 50с.
2. Снесарев Г.А., Тибанов В.П. Учебное пособие по проектированию и расчету металлоконструкций подъемно-транспортных устройств. Под редакцией Г.А. Снесарева, Москва, МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1985.- 43 с.
3. Майзель В.С. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Учеб. пособ. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1966., 182 с.
4. Справочник по кранам: В 2 т. Т 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / Под общ. ред. М.М.Гохберга. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. - 536 с., ил.
5. Гохберг М.М., Ворожцов А.Г. Причины образования остаточных прогибов пролетных балок мостовых металлургических кранов//Металлургия и горнорудная промышленность. 1986. №3. с. 54-55.
6. Справочник по кранам. В 2 т. Т 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов/ Под общ. ред. М.М.Гохберга. Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. 559 с., ил.
7. Троицкий В.А., Валевиц М.И. Неразрушающий контроль сварных соединений.-М.:Машиностроение, 1988.-112с.: ил.
8. «Техсовет», №4, 2007 г. – К.Литвиненко.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Выборки из ГОСТов на сортамент наиболее употребительных профилей.

1. Стальная горячекатаная полоса (по ГОСТ 103-76).

Изготавливают полосы толщиной (мм): 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20;

шириной (мм): 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45, 50, 55, 60, 63, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200;

длиной от 3м до 10м.

Пример обозначения полосы толщиной 10мм и шириной 100мм из стали Ст3:

Полоса $\frac{10 \times 100 \text{ ГОСТ } 103-76}{\text{Ст3} \quad \text{ГОСТ } 585-79}$

2. Стальная горячекатаная широкая полоса (по ГОСТ 82-70).

Изготавливают полосы толщиной (мм): 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45, 50, 55, 60;

шириной (мм): 200, 210, 220, 240, 250, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, 530, 560, 600;

длиной от 5м до 12м.

Пример обозначения широкополосной стали Ст3 толщиной 20мм и шириной 500мм:

Полоса $\frac{20 \times 500 \text{ ГОСТ } 82-70}{\text{Ст3} \quad \text{ГОСТ } 380-71}$

3. Листовая горячекатаная сталь (по ГОСТ 19903-74).

Изготавливают листы толщиной (мм): 2; 2,5; 3; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30;

шириной (мм): 700, 1000, 1500, 1800, 2000, 2500, 3000, 3600;

длиной от 2м до 12м.

Пример обозначения горячекатаного листа из стали Ст3 толщиной 2мм, шириной 1000мм и длиной 3000мм.

Лист $\frac{2,0 \times 1000 \times 3000 \text{ ГОСТ } 19903-74}{\text{Ст3} \quad \text{ГОСТ } 380-71}$

4. Трубы стальные бесшовные горячекатаные (по ГОСТ 8732-78).

Изготавливают трубы длиной от 4м до 12,5м;

толщиной стенок (мм): 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 17; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 48; 50; 56; 60; 63; 70; 75;

наружным диаметром трубы (мм), приведенным в таблице

Наружный диаметр	32	38	42	45	50	54	57	60	63,5	68	70
Толщина от стенки до	2,5 4	2,5 4	2,5 4	2,5 7	2,5 8	3 11	3 13	3 14	3 14	3 14	3 14
Продолжение											
Наружный диаметр	73	76	83	89	95	102	108	114	121	127	133
Толщина от стенки до	3 19	3 19	3,5 19	3,5 24	3,5 24	3,5 24	4 28	4 28	4 28	4 30	4 32
Продолжение											
Наружный диаметр	140	146	152	159	168	180	194	203	219	245	273
Толщина от стенки до	4,5 36	4,5 36	4,5 36	4,5 36	5 45	5 45	5 45	6 50	6 50	6 50	6,5 50
Продолжение											
Наружный диаметр	299	325	351	377	402	426	450	480	500	530	
Толщина от стенки до	7,5 75	7,5 75	8 75	9 75	9 75	9 75	16 75	25 75	25 75	25 75	

Пример обозначения трубы с наружным диаметром 70мм, толщиной стенки 4мм, длиной 6000мм из стали Ст3

Труба 70 x 4 x 6000 ГОСТ 8732-78
Ст 3 ГОСТ 380-71

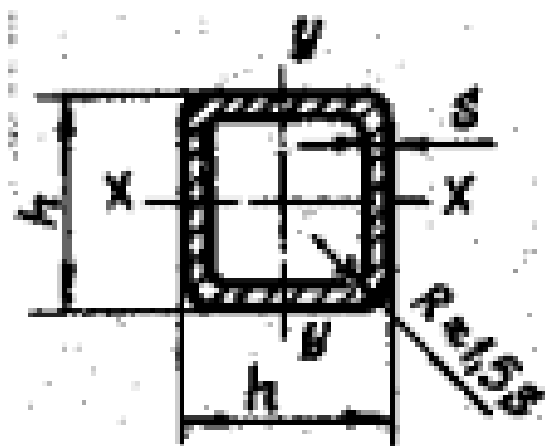
5. Трубы стальные квадратные (по ГОСТ 8639-82)

J – осевой момент инерции

W – осевой момент сопротивления

Пример условного обозначения квадратной трубы со стороной $h=40$ мм и толщиной $s = 3,5$ мм из стали Ст3

Труба 40 x 3,5 ГОСТ 8639-82
Ст3 ГОСТ 380-71

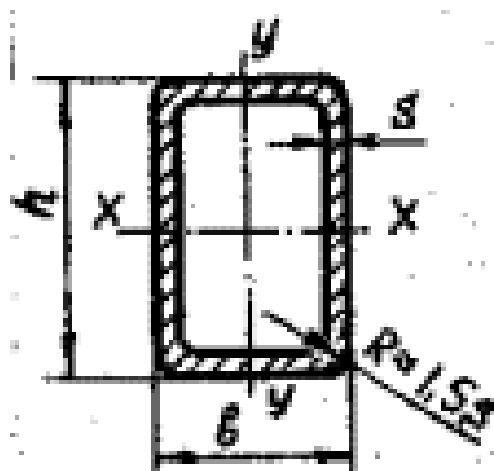


h	S	Площадь сечения см ²	J _x = J _y см ⁴	W _x = W _y см ³	Масса 1м, кг
мм					
32	3	3,37	4,93	3,08	2,65
35	3	3,73	6,61	3,78	2,93
36	3,5	4,40	8,11	4,50	3,46
40	4	4,96	11,5	5,73	3,90
42	4	5,89	14,8	7,05	4,62
45	5	6,37	18,6	8,25	5,00
50	5	8,70	30,8	12,3	6,83
55	5	9,70	42,1	15,3	7,61
60	6	12,53	63,8	21,3	9,84
65	6	13,73	83,0	25,5	10,78
70	6	14,93	105,7	30,2	11,72
75	6	16,13	132,4	35,8	12,66
80	7	19,85	183,2	45,8	15,58
92	7	23,21	288,5	62,7	18,22
100	7	25,45	377,5	75,5	25,45

6. Трубы стальные прямоугольные (по ГОСТ 8645-68)

J – момент инерции

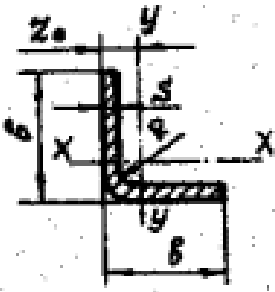
W – момент сопротивления



h	b	S	Площадь сечения см ²	J _x см ⁴	W _x см ²	J _y см ⁴	W _y см ³	Масса 1м, кг
Мм								
32	16	2,5	2,08	2,57	1,60	0,793	0,991	1,63
35	14	2,5	2,13	2,98	1,70	0,618	0,883	1,67
36	18	3	2,77	4,30	2,39	1,32	1,46	2,18
40	20	3	3,13	6,08	3,04	1,89	1,89	2,46
45	30	3	4,03	10,92	4,85	5,63	3,76	3,17
50	32	3	4,52	14,87	5,95	7,22	4,51	3,50
55	38	4	6,61	26,73	9,72	14,57	7,67	5,19
60	40	5	8,70	40,75	13,58	20,80	10,40	6,83
70	50	5	10,70	70,91	20,26	40,94	16,38	8,40
80	60	6	14,93	130,2	27,11	81,32	32,55	11,72
90	90	6	16,13	174,7	38,82	90,10	30,03	12,66
100	50	7	18,45	225,8	45,16	70,72	28,29	14,48
125	75	8,5	30,24	612,0	97,92	263,9	70,37	23,74
140	115	14	61,21	1612	230,3	1160	201,7	48,05
150	100	10	44,80	1347	179,6	695	139,1	35,17
180	80	10	46,80	1840	204,4	480	120,0	36,74

Пример условного обозначения прямоугольной трубы с высотой $h = 40$ мм, шириной $b=20$ мм и толщиной стенки $s = 3$ мм из стали Ст3.

Труба 40 x 20 x 3 ГОСТ 8645-68
Ст3 ГОСТ 380-71



7. Гнутые стальные равнополочные уголки (по ГОСТ 19771-74, СТ СЭВ 2208-80)

J – момент инерции;

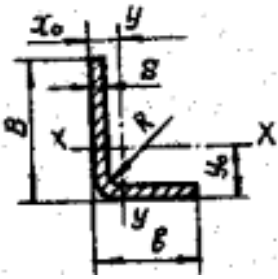
i – радиус инерции

Z_0 – координата центра тяжести сечения

b	S	не более R	Площадь сечения см ²	J _x см ⁴	i _x см	Z ₀ см	Масса 1м, кг
мм							
40	2,5	3	1,89	2,98	1,25	1,12	1,48
50	3,0	4	2,84	7,02	1,57	1,39	2,23
55	3,0	4	3,14	9,44	1,73	1,52	2,46
60	3,0	4	3,44	12,36	1,89	1,64	2,70
70	4,0	6	5,30	25,79	2,20	1,95	4,16
80	4,0	6	6,10	39,00	2,53	2,20	4,79
100	5,0	7	9,55	95,31	3,16	2,74	7,49
120	5,0	7	11,55	167,19	3,80	3,24	9,06

Пример обозначения гнутого равнополочного уголка с размером $b=50\text{мм}$; $s = 3\text{мм}$ из стали Ст3.

Уголок 50 x 50 x 3 ГОСТ 19771-74
Ст3 ГОСТ 380-71



8. Гнутые стальные неравнополочные уголки (по ГОСТ 19772-74)

J – момент инерции;

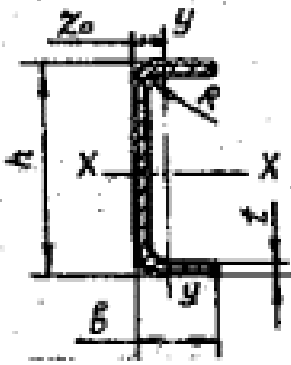
i – радиус инерции;

x_0, y_0 – координаты центра тяжести сечения.

B	b	S	R	Площадь сечения см^2	J_x см^4	i_x см	J_y см^4	i_y см	x_0	y_0	Масса l_m , кг
мм											
32	25	2,0	3	1,06	1,12	1,02	0,61	0,76	0,64	1,0	0,84
40	25	2,0	3	1,22	2,06	1,30	0,65	0,73	0,57	1,34	0,96
40	32	2,5	3	1,69	2,76	1,28	1,59	0,97	0,85	1,24	1,33
50	36	3,0	4	2,42	6,26	1,61	2,79	1,07	0,89	1,61	1,90
60	40	3,0	4	2,84	10,73	1,94	3,97	1,18	0,93	1,96	2,23
70	50	4,0	6	4,5	22,90	2,25	10,04	1,49	1,23	2,26	3,53
80	63	4,0	6	5,42	35,95	2,57	20,06	1,92	1,57	2,45	4,26
90	70	5,0	7	7,55	63,07	2,89	34,09	2,12	1,76	2,79	5,92
100	80	6,0	9	10,13	103,79	3,20	60,11	2,43	2,06	3,09	7,95
120	100	7,0	9	14,53	213,65	3,83	136,71	3,07	2,59	3,62	11,41
160	125	8,0	12	21,61	573,52	5,15	313,85	3,81	3,11	4,91	16,96

Пример обозначения гнутого неравнополочного уголка с размерами $B=60\text{мм}$; $b=40\text{мм}$; $s=3\text{мм}$ из стали Ст3

Уголок 60 х 40 х 3 ГОСТ 19772-74
Ст3 ГОСТ 380-71



9. Швеллеры стальные гнутые равнополочные (по ГОСТ 8278-83)

W – момент сопротивления

J – момент инерции

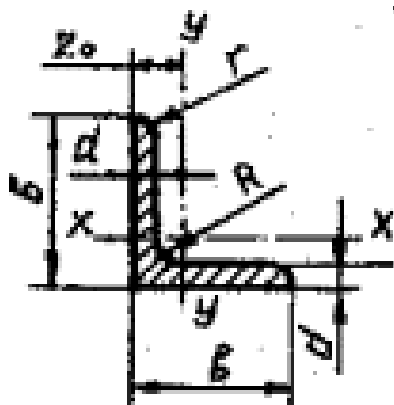
i – радиус инерции

S – статический момент полусечения

h	b	t	R	Площадь сечения, см^2	J_X см^4	W_X см^3	i_X см	S_X см^3	J_Y см^4	W_Y см^3	i_Y см	z_0 мм	Масса l , кг
мм													
50	40	3	4	3,58	14,55	5,82	2,02	3,37	5,88	2,26	1,28	13,9	2,81
60	40	3	4	3,88	22,21	7,40	2,39	4,30	6,31	2,33	1,27	13,0	3,04
80	50	4	6	6,60	65,98	16,50	3,16	9,65	16,60	4,88	1,58	16,0	5,18
100	50	4	6	7,40	111,44	22,29	3,88	13,15	18,01	5,07	1,56	14,5	5,81
120	60	5	7	11,09	239,63	39,94	4,67	23,60	38,73	9,10	1,87	17,4	8,71
140	60	5	7	12,09	345,47	49,35	5,34	29,40	40,80	9,32	1,84	16,2	9,49
160	60	5	7	13,08	475,49	59,41	6,03	35,70	42,56	9,49	1,80	15,2	10,28
180	80	6	9	19,08	914,79	101,64	6,93	60,17	116,23	19,94	2,47	21,7	14,96
200	80	6	9	20,26	1174,93	117,93	6,61	70,00	120,22	20,24	2,44	20,6	15,91

Пример обозначения швеллера гнутого равнополочного с высотой $h=100\text{мм}$, высотой полки $b=50\text{мм}$ и толщиной $t=4\text{ мм}$, изготовленного из стали Ст3

Швеллер 100 х 50 х 4 ГОСТ 8278-83
Ст3 ГОСТ 380-71



10.Прокатная угловая равнополочная сталь (по ГОСТ 8509-72, СТ СЭВ 104-74)

J – момент инерции;

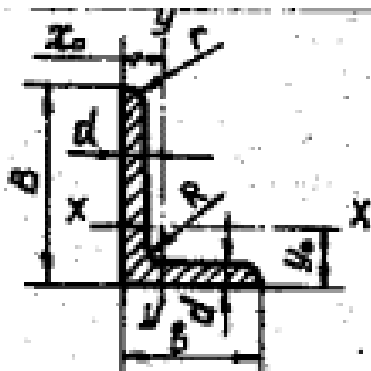
i – радиус инерции;

Z_0 – координата центра тяжести сечения

№ Профиля	b	d	R	r	Площадь сечения, см ²	J_x см ⁴	i_x см	z_0 мм	Масса 1м, кг
	мм								
5	50	5	5,5	1,8	4,80	11,20	1,53	1,42	3,77
5,6	56	5	6,0	2,0	5,41	16,00	1,72	1,57	4,25
6,3	63	5	7,0	2,3	6,13	23,10	1,94	1,74	4,81
7	70	6	8	2,7	8,15	37,6	2,15	1,94	6,39
7,5	75	7	9	3,0	10,10	53,3	2,29	2,10	7,96
8	80	8	9	3,0	12,3	73,4	2,44	2,27	9,65
9	90	9	10	3,3	15,6	118	2,75	2,55	12,20
10	100	10	12	4,0	19,20	179	3,05	2,83	15,10
11	110	8	12	4,0	17,20	198	3,39	3,00	13,50
12,5	125	12	14	4,6	28,9	422	3,82	3,53	22,7

Пример условного обозначения угловой равнополочной стали профиля 5 с толщиной $d=5$ мм марки Ст3.

Уголок 50 х 50 х 5 ГОСТ 8509-72
Ст3 ГОСТ 535-79



11.Прокатная угловая неравнополочная сталь (по ГОСТ 8510-72, ст СЭВ 255-76)

J – Момент инерции;

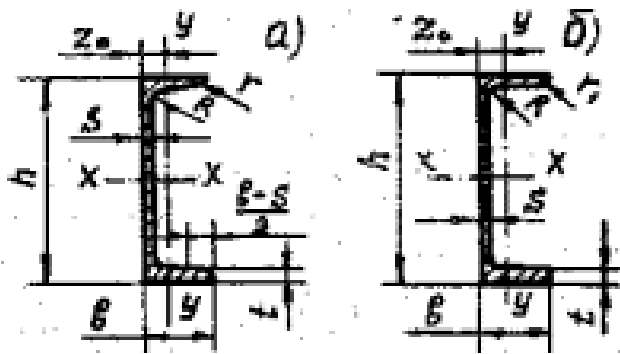
i – радиус инерции;

x_0, y_0 – координаты центра тяжести сечения.

№ Профиля	V	b	d	R	r	Площадь сечения, см ²	J_x см ⁴	i_x см	J_y см ⁴	i_y см	x_0 мм	y_0 мм	Масса 1м, кг
	мм												
4/2,5	40	25	3	4,0	1,3	1,89	3,06	1,27	0,93	0,70	0,59	1,32	1,48
4,5/2,8	45	28	4	5,0	1,7	2,80	5,68	1,42	1,69	0,78	0,68	1,51	2,20
5/3,2	50	32	4	5,5	1,8	3,17	7,98	1,59	2,56	0,90	0,76	1,85	2,49
5,6/3,6	56	36	5	6,0	2,0	4,41	13,80	1,77	4,48	1,01	0,88	1,86	3,46
6,3/4,0	63	40	5	7,0	2,3	4,98	19,90	2,00	6,26	1,12	0,95	2,08	3,91
7/4,5	70	45	5	7,5	2,5	5,59	27,80	2,23	9,05	1,27	1,05	2,28	4,38
7,5/5	75	50	6	8,0	2,7	7,25	40,90	2,38	14,60	1,42	1,21	2,44	5,69
8/5	80	50	6	8,0	2,7	7,55	49,00	2,55	14,80	1,40	1,17	2,65	5,92
9/5,6	90	56	6	9,0	3,0	8,54	70,6	2,88	21,2	1,58	1,28	2,95	6,70
10/6,3	100	63	7	10	3,3	11,1	113,0	3,19	35,0	1,78	1,46	3,28	8,70
11/7	110	70	8	10	3,3	13,9	172,0	3,51	54,6	1,98	1,64	3,61	10,90
12,5/8	125	80	8	11	3,7	16,0	256,0	4,00	83,0	2,28	1,84	4,05	12,50

Пример обозначения угловой неравнополочной стали профиля 8/5 с толщиной полки $d=6$ мм, марки Ст3.

Уголок 80 х 50 х 6 ГОСТ 8510-72
Ст3 ГОСТ 535-79



12. Швеллеры стальные горячекатаные (по ГОСТ 8240-72).

Изготавливают с уклоном (не более 10%) внутренних граней полков (Q) и с параллельными гранями полков (δ).

J – момент инерции; W – момент сопротивления;

i – радиус инерции;

S – статический момент полусечения;

Z₀ – координаты центра тяжести сечения.

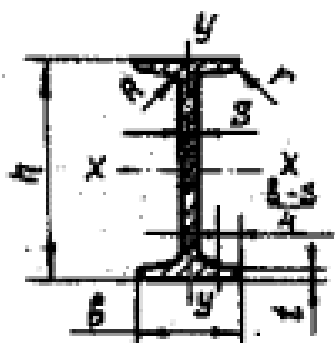
№ швеллера	h	b	S	t	R	r	r ₁	Площадь сечения, см ²	J _x см ⁴	W _x см ³	i _x см	S _x см ³	J _y см ⁴	i _y см	z ₀ мм	Масса 1м, кг
	мм															
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	3,5	8,98	89,4	22,4	3,16	13,30	12,80	4,75	13,1	7,05
10	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	4,0	10,9	174,0	34,8	3,99	20,40	20,40	6,46	14,4	8,59
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	4,5	13,3	304,0	50,6	4,78	29,60	31,20	8,52	14,4	10,4
14	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	4,5	15,6	491,0	70,2	5,60	40,80	45,40	11,00	16,7	12,3
16	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	5,0	18,1	747,0	93,4	6,42	54,10	63,30	13,80	18,0	14,2
18	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	5,0	20,7	1090,0	121,0	7,24	69,80	86,00	17,00	19,4	16,3
20	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	5,5	23,4	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,00	20,50	20,7	18,4
22	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	6,0	26,7	2110,0	192,0	8,89	110,00	151,00	25,10	22,1	21,0
24	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	6,0	30,6	2900,0	242,0	9,73	139,00	208,00	31,60	24,2	24,0
27	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	6,5	35,2	4160,0	308,0	10,90	178,00	262,00	37,30	24,7	24,7
30	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	7,0	40,5	5810,0	387,0	12,00	224,00	327,00	43,00	25,2	31,8
33	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	7,5	46,5	7980,0	484,0	13,10	281,00	410,00	51,80	25,9	36,5
36	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	8,5	53,5	10820,0	601,0	14,20	350,00	513,00	61,70	26,8	54,9
40	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	9,0	61,5	15220,0	761,0	15,70	444,00	642,00	73,40	27,5	48,3

Пример обозначения швеллера №20 с уклоном внутренних граней полков из стали Ст3

Швеллер 20 ГОСТ 8240-72
Ст3 ГОСТ 535-79

то же с параллельными гранями полков:

Швеллер 20П ГОСТ 8240-72
Ст3 ГОСТ 535-79



13. Балки двутавровые стальные горячекатаные (по ГОСТ 8239-72, СТ СЭВ 2209-80)

J – момент инерции; W – момент сопротивления;

S – статический момент полусечения;

i – радиус инерции.

Уклон внутренних граней полочек не более 12%.

№ Балки	h	b	S	t	R	r	Площадь сечения, см ²	J_x см ⁴	W_x см ³	i_x см	S_x см ³	J_y см ⁴	W_y см ³	i_y см	Масса m , кг
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22	9,46
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38	11,5
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55	13,7
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70	15,9
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88	18,4
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07	21,0
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27	24,0
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37	27,3
27	270	125	6,0	9,5	11,0	4,5	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54	31,5
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69	36,5
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	9840	597	13,5	389	419	59,9	2,79	42,2
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,83	48,6
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03	57,0

Пример обозначения двутавровой балки №30 из стали Ст3:

Двутавр 30 ГОСТ 8239-72
Ст3 ГОСТ 535-79

