ОПД.Ф.11 ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ
ВЫПУСКНАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Учебное пособие

Пособие соответствует учебному плану подготовки бакалавров по направлению 551800 “Технологические машины и оборудование” и является основным при выполнении выпускной работы, представляющей собой комплексный проект по специальным дисциплинам СД.01 «Грузоподъемные машины», СД.03 «Строительная механика и металлические конструкции» и СД.05 «Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин» по Государственному образовательному стандарту специальности 170900 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».

Рассмотрены требования, порядок и рекомендации по выполнению выпускной работы бакалавров. Главное внимание уделено вопросам систематизации работы, выбора рациональных методик расчета и решения конструкторских проблем, а также требованиям, предъявляемым к оформлению выпускной работы.

Предназначено для студентов кафедры «Подъемно-транспортные и строительные машины», обучающихся на IV курсе механико-машиностроительного факультета по циклу «Проектирование машин».

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение выпускной работы является завершающей стадией подготовки бакалавра. Это комплексная квалификационная работа, результаты успешной защиты которой совместно с результатами междисциплинарного экзамена являются основанием для присвоения студенту квалификации бакалавра.

По содержанию выпускная работа для студентов, обучающихся на кафедре "Подъемно-транспортные и строительные машины" по циклу специальных дисциплин "Проектирование машин", является конструкторским проектом, базирующимся на знаниях, полученных в рамках специальных, общетехнических и фундаментальных дисциплин. В проекте студент должен продемонстрировать умения творчески применять накопленные знания при решении комплексной инженерной проблемы - проектирование машины. Объектом проектирования, как правило, является грузоподъемный кран общего назначения. Студент также вправе предложить свою тему, согласовав ее с руководителем, обосновав целесообразность и возможность разработки.

Выпускная работа выполняется студентом самостоятельно и он несет ответственность за качество и сроки ее выполнения. Организационно методическую помощь по существу проекта студенту оказывают руководитель и консультанты по отдельным разделам работы, назначаемые кафедрой.

Оценка качества выпускной работы осуществляется Государственной аттестационной комиссией по следующим критериям:

уровень общетехнической грамотности, проявляемой автором при решении поставленной задачи;

общий уровень работы, характеризуемый качеством и сложностью технических решений и полнотой их расчетно-теоретического обоснования, уровнем использования вычислительной техники;

качество оформления графической и текстовой частей работы, соблюдением требований стандартов ЕСКД;

умение доложить суть работы, обосновать и защитить принятые решения, а также ответить на вопросы членов комиссии по тематике предоставленного проекта.

1. СТРУКТУРА ВЫПУСКНОЙ РАБОТЫ

Выпускная работа бакалавра представляет собой комплексный конструкторский проект, включающий три основные части - расчет и проектирование механизмов, расчет и проектирование металлических конструкций, разработку технологии сборочных работ. В ней может присутствовать также исследовательский раздел, электрическая часть или другие инженерные разработки, относящиеся к теме проекта.

Выпускная работа состоит из графической части, включающей чертежи грузоподъемной машины, ее узлов и деталей (5...6 листов формата А1) и расчетно-пояснительной записки объемом 30 - 50 страниц машинописного текста, включая приложения.

Графическая часть выпускной работы отражает основные конструктивные решения и включает чертеж общего вида машины (1 лист формата А2), сборочные чертежи механизмов и узлов (2...3 листа формата А1), чертежи элементов металлической конструкции крана (1...2 листа формата А1) и рабочие чертежи двух деталей (2 листа формата А3).

Пояснительная записка должна иметь следующую структуру: титульный лист, задание, спецификация работы, реферат, содержание, введение, основная часть, заключение, список использованной литературы, приложения (при необходимости). Правила оформления чертежей и пояснительной записки, примеры оформления титульного листа, реферата, содержания, заключения, иллюстраций приведены в Методических указаниях по выполнению выпускной работы бакалавра [8]. Правила формирования обозначения документов и пример оформления спецификации работы, в которой перечислены все входящие в нее материалы с соответствующими обозначениями и наименованиями, даны в Приложении.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

2.1. Компоновка механизмов

Процесс проектирования крановых механизмов включает две стадии. Первая - компоновка, которая заключается в разработке компоновочных чертежей механизмов или их узлов и крана в целом на основании предварительных расчетов. Вторая стадия включает детальную проработку конструктивных решений проектируемых механизмов, полный их расчет, разработку чертежей и пояснительной записки.

Первая стадия - самая важная творческая часть инженерной работы, от которой во многом зависит качество проектных решений. Только после утверждения компоновки руководителем работы можно приступать ко второй стадии. Компоновочным называется схематический чертеж, назначение которого - установить габаритные размеры отдельных механизмов и взаимное расположение их узлов, а также увязать механизмы с металлической конструкцией крана и определить возможность их сборки-разборки, доступность для осмотра, смазки, регулировки и т.д. При этом намечаются конструктивные решения как отдельных механизмов, так и крана в целом. На стадии компоновки предварительные расчеты выполняются в минимальном объеме, указанном в п.2.2. В необходимых случаях делается несколько вариантов компоновки, каждый из которых сопровождается необходимыми расчетами. Для дальнейшей разработки сохраняется наиболее удачный вариант компоновки и его расчетное обоснование. На этом варианте компоновки целесообразно нанести все размеры, которые в дальнейшем будут необходимы для разработки чертежей.

Компоновочные чертежи выполняются параллельно с предварительными расчетами на миллиметровке с помощью чертежных инструментов строго в масштабе. В зависимости от габаритных размеров изделия обычно устанавливается масштаб для механизмов в сборе 1:4, 1:5, 1:10, для разрезов и узлов - 1:2, 1:2,5, 1:4, 1:5, а для общего вида крана 1:25, 1:40, 1:50, 1:75, 1:100. При выполнении компоновки, выбирая из каталогов комплектующие изделия, рекомендуется сразу выписывать все габаритные и привязочные размеры и их характеристики. На компоновочном чертеже можно делать упрощения в изображении

узлов. Двигатели, муфты, редукторы, барабаны, тормоза, зубчатые колеса изображаются прямоугольниками, окружностями или габаритными контурами. Болты, крепящие узлы друг к другу или к опорам, указываются осевыми линиями.

2.2. Последовательность расчета на стадии компоновки

Расчет механизма подъема на стадии компоновки рекомендуется выполнять в следующем порядке.

1) Выбор типа и кратности полиспаста, расчет и выбор каната, определение размеров барабана и блоков ([12], п.V.4.).

Для кранов мостового типа с тележками обязательно применение сдвоенных полиспастов (лучше четной кратности), для кранов стрелового типа желательно использовать простые полиспасты. Выбор каната производится по величине разрывного усилия каната в целом F_0:

$$F_0 \geq S_{max} Z_P,$$

где S_{max} - наибольшее натяжение ветви каната; Z_P - минимальный коэффициент использования каната (минимальный коэффициент запаса прочности каната), принимаемый по данным табл.2.1.

Минимальный диаметр барабанов $D_Б$, блоков $D_{БЛ}$ и уравнительных блоков $D_{У.БЛ}$, огибаемых стальными канатами, определяется по формулам:
$D_Б \geq h_1 d_К$, $D_{БЛ} \geq h_2 d_К$, $D_{У.БЛ} \geq h_3 d_К$, где $d_К$ - диаметр каната; h_1, h_2, h_3 - коэффициенты выбора диаметров соответственно барабана, блока и уравнительного блока, определяемые по данным табл.2.1.

2) Определение КПД механизма, потребной статической мощности и выбор двигателя ([11], п.II.3., II.4; [12], п.V.3., V.5., VI.5).

3) Определение числа оборотов барабана и передаточного числа механизма подъема ([12], п.VI.5).

4) Выбор схемы механизма, редуктора, муфт и типа соединения барабана с редуктором. При компоновке необходимо добиться, чтобы действительная скорость подъема груза не отличалась от заданной более чем на 10% ([12], п.V.1., V.2., VI.3).

5) Определение потребного тормозного момента, выбор тормоза (тормозов) и места его (их) установки ([12], п.V.6., VI.5).

6) Определение времен разгона и торможения механизма подъема ([12], п.VI.5).

Таблица 2.1.

Нормативные значения коэффициентов для выбора параметров канатной системы

Группа классификации (режима работы) механизма по		Z_P для канатов		Коэффициенты выбора диаметров		
ИСО 4301/1	ГОСТ 25835	подвижных	неподвижных	h_1	h_2	h_3
M1	1M	3,15	2,5	11,2	12,5	11,2
M2	1M	3,35	2,5	12,5	14,0	12,5
M3	1M	3,55	3,0	14,0	16,0	12,5
M4	2M	4,0	3,5	16,0	18,0	14,0
M5	3M	4,5	4,0	18,0	20,0	14,0
M6	4M	5,6	4,5	20,0	22,4	16,0
M7	5M	7,1	5,0	22,4	25,0	16,0
M8	6M	9,0	5,0	25,0	28,0	18,0

Расчет механизма передвижения рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1) Предварительное определение масс тележки или крана (производится по справочным данным об осуществленных конструкциях или по приближенным формулам в табл.2.2), наветренных площадей ([11], п.I.7).

2) Выбор количества и диаметра ходовых колес и их расчет на контактную долговечность ([12], п.V.8).

3) Выбор схемы механизма, определение его КПД, сопротивления передвижению, потребных статической и пусковой мощностей двигателя, выбор двигателя (двигателей) ([11], п.II.3, II.4; [12], п.V.3, V.5, VI.6, VI.8).

4) Определение числа оборотов приводных колес (или тягового барабана) и передаточного числа механизма передвижения ([12], п.VI.8).

5) Выбор редукторов, муфт, расчет дополнительных передач. Если действительное передаточное число редуктора отличается от расчетного, определяется действительная скорость передвижения тележки (крана) (действительное передаточное число не должно отличаться от расчетного более чем на 10%) ([12], V.1, V.2, V.3).

6) Определение потребного тормозного момента, выбор тормоза (тормозов) и места его (их) установки ([12], п.V.6, VI.8).

Таблица 2.2

Формулы для предварительного определения масс кранов и крановых тележек

Наименование объекта	Формулы
Настенно-поворотные краны: с тележкой с постоянным вылетом	 $m_К = 2 + 0{,}15\ Q\ R_{max}$ $m_К = 1{,}5 + 0{,}04\ Q\ R$
Поворотные краны на колонне: стреловые без противовеса с тележкой (поворотная часть без противовеса)	 $m_К = 3 + 0{,}07\ Q\ R_{max}$ $m_{ПЧ} = 3 + 0{,}2\ Q\ R_{max}$
Велосипедные краны без противовеса общая масса поворотная часть крана	 $m_К = 0{,}4 + 0{,}3\ Q\ R$ $m_{ПЧ} = 3 + 0{,}07\ Q\ R$
Мостовые краны (без тележки) с пролетом не более 30 м и грузоподъемностью, т: до 5 от 5 до 15 от 16 до 20 от 30 до 40 (пролет не более 20 м)	 $m_К = 3{,}5 + 0{,}07\ Q\ L_К$ $m_К = 2 + 0{,}06\ Q\ L_К$ $m_К = 1{,}2 + 0{,}05\ Q\ L_К$ $m_К = 6{,}5 + 0{,}03\ Q\ L_К$
Консольные краны	$m_К = 4 + 0{,}25\ Q\ R_{max}$
Козловые краны без консолей	$m_К = 10 + 0{,}01\ Q\ L_К$
Крановые тележки: с колесным приводом передвижения с передвижением от канатной тяги	 $m_Т = 1{,}5 + 0{,}2\ Q$ $m_Т = 0{,}45 + 0{,}07\ Q$
Условные обозначения: $m_К$, $m_{ПЧ}$, $m_Т$ - соответственно массы крана, его поворотной части и тележки, Q - грузоподъемность крана, т; R - вылет стрелы, м; $L_К$ - пролет крана, м.	

7) Определение времени разгона тележки (крана) с грузом, проверки отсутствия буксования при разгоне для порожней тележки (крана) и перегрузочной способности двигателя ([12], п.VI.8).

8) Проверка отсутствия юза при торможении порожней тележки (крана) ([12], п.VI.8).

Расчет механизма вращения рекомендуется выполнять в следующем порядке.

1) Предварительное определение массы поворотной части крана (табл.2.2) и положение ее центра масс, наветренной площади крана и груза ([11], п.I.7).

2) Определение массы противовеса и координаты его центра масс, величин опорных реакций ([12], п.VI.9).

3) Выбор типа опорно-поворотного устройства и основных размеров опорных частей ([12], п.VI.9).

4) Определения сопротивлений вращению крана, потребных среднеквадратичной и пусковой мощностей двигателя, выбор двигателя ([11], п.II.3, II.4; [12], п.VI.11).

5) Определение передаточного числа механизма вращения, выбор схемы механизма, разбивка передаточного отношения между частями схемы, выбор (или расчет) редукторов, передач и соединительных муфт ([12], п.V.I, V.2, V.3,VI.10, VI.11).

6) Определение момента муфты предельного момента, выбор типа и расчет всех ее элементов ([12], рис. V.2.38, V.2.39, п.VI.11).

7) Определение потребного тормозного момента, выбор тормоза и места его установки ([12], п.V.6, VI.11).

8) Определение времени разгона механизма и проверка двигателя на перегрузочную способность ([12], п.VI.11).

9) Проверка времени торможения крана ([12], п.VI.11).

Расчет полиспастного механизма изменения вылета, который осуществляет установочное движение, рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1) Предварительное определение массы стрелы и ее центра масс, наветренной площади ([11], п.1.7).

2) Определение скорости тягового звена и максимального усилия в нем при нагруженной стреле ([12], п.VI.15).

3) Выбор кратности стрелового полиспаста, расчет и выбор каната, определение размеров барабана и блоков. Расчет ведется аналогично пункту 1 для механизма подъема ([12], п.V.4, V.5).

4) Определение КПД механизма, потребных среднеквадратичной и пусковой мощностей двигателя, выбор двигателя ([11], п.II.3, II.4; [12], п.V.3, VI.15).

5) Определение передаточного числа редуктора и общего передаточного числа механизма изменения вылета ([12], п.VI.15).

6) Определение потребного тормозного момента, выбор тормоза (тормозов) ([12], п.V.6, VI.15).

7) Определение времени разгона механизма и проверки двигателя на перегрузочную способность ([12], п. VI.15).

8) Определение времени торможения механизма и проверки тормоза при различных условиях работы ([12], п.VI.15).

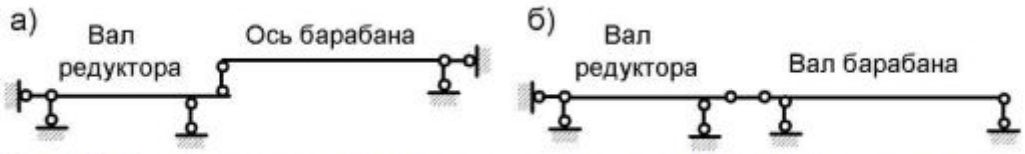


Рис.2.1. Расчетные схемы тихоходных валов механизмов подъема

2.3. Особенности проектирования механизмов кранов различных типов

2.3.1. Краны мостового типа

Основные схемы механизмов подъема (лебедок) крюковых кранов приведены на рис.VI.2.1. в [12]. В сопряжении барабана с редуктором наиболее часто используется шарнирное соединение, (рис. VI.2.1,*а*,*д*), в котором поперечная сила передается через сферический подшипник, а вращающий момент - через зубчатое зацепление ([12], рис.V.2.13,*а*, табл.V.2.14). Расчетная схема выходного вала редуктора и оси барабана в этом случае приведена на рис.2.1,*а*. Соединение двухопорного барабана и редуктора двухвенцовой зубчатой муфтой (рис.VI.2.1,*в*) может быть целесообразно, например, при маленьком диаметре барабана, когда зубчатая муфта на выходном валу редуктора больше диаметра барабана. В этом случае расчетная схема валов редуктора и барабана приведена на рис.2.1,*б*.

Тихоходные лебедки выполняют с трехступенчатым редуктором или с открытой зубчатой передачей (рис.VI.2.1,*в*,*г*); в этом случае предпочтительней схема на рис.VI.2.1,*г*. со специальным редуктором (пример установки зубчатого колеса на барабане см. в [12] на рис.V.2.13,*б*). Схему на рис.VI.2.1,*д* целесообразно применять для более равномерного распределения веса механизма подъема на колеса тележки.

Выполнение компоновки тележки надо начинать с вычерчивания механизма подъема в плане. Допустим, компоновочное прочерчивание первых результатов предварительного расчета механизма подъема показало (рис.2.2,*а*), что барабан «налезает» на двигатель. Поскольку двигатель и редуктор стандартны, то при данной схеме механизма подъема можно изменить кратность полиспаста (диаметр барабана) или, что значительно хуже, сделать дополнительную открытую зубчатую передачу от редуктора к барабану (рис.VI.2.1,*в*,*г*).

Например, в результате изменения параметров механизма составлен второй вариант компоновки (рис.2.2,*б*). Прочерчивание этого варианта показывает, что между двигателем и барабаном имеется просвет $\delta_1 > 0$, но нужно убедиться, что он достаточен для размещения деталей крепления каната к барабану. Для этого узел крепления вычерчивается в масштабе 1 : 1 (рис.2.2,*в*). Если просвет $\delta_1 \geq H+20$ мм, то этот вариант принимают и продолжают компоновочную проработку. Вычерчивают сечение А - А (рис.2.2,*б*), прорабатывают узел соединения барабана с редуктором ([12], рис.V.2.13,*а* и табл. V.2.14) таким образом, чтобы просвет δ_2 получить удобным для сборки - разборки и обслуживания (смазки) узла. Аналогично прорабатывается узел соединения редуктора с двигателем (сеч.В - В на рис.2.2,*б*). При этом, если по соображениям компоновки тележки просвет δ_3 нужно принять большим, чем это диктуется соединением типовыми муфтами, то при $\delta_3 \leq 400$ мм конструируют нетиповую (специальную) муфту, а при $\delta_3 > 400$ мм применяют промежуточный (плавающий) вал. Сечение Б - Б позволяет проработать конструкцию узла установки подшипника. Уточнение длины барабана (установление минимальной величины средней ненарезанной части) производится из условия ограничения угла набегания каната на барабан при наивысшем положении крюковой подвески ([12], п. V.5). На виде сбоку устанавливается взаимное расположение по высоте двигателя, тормо-

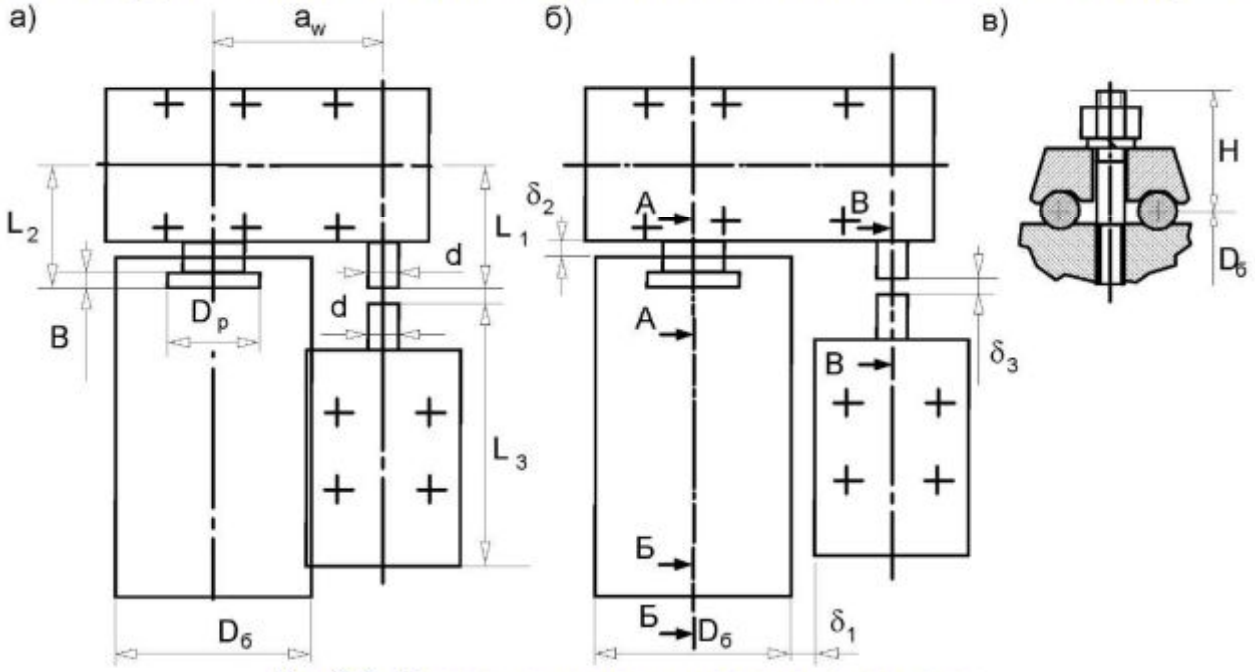


Рис.2.2. Начало компоновки механизма подъема:
a_w, L_1, L_2, B, d_1, D_p - каталожные размеры выбранного редуктора; L_3, d_2 - то же для двигателя; $D_б$ - расчетный диаметр барабана

за, редуктора, барабана и пр.

Выбор места расположения уравнительного блока (блоков) на тележке производится из условия расположения груза посередине базы ***B*** тележки (рис.2.3,*а*), чтобы давления на колеса от веса груза были одинаковыми. Для этого необходимо определить положение крюковой подвески в пространстве. Это положение определяется углами наклона канатов (α_1, α_2) при сходе с блоков подвески. Углы наклона вычисляются из условия равенства горизонтальных проекций натяжений в канатах с обеих сторон крюковой подвески, $S_1 = 2S$ и $S_2 = 2(m-1)S$. При компоновке определение углов можно выполнять по приближенной схеме (рис.2.3,*б*). Например, для сдвоенного полиспаста кратностью два, углы наклона канатов получаются одинаковыми (рис.2.3,*а*).

При размещении ходовой части тележки необходимо обеспечить, чтобы при взгляде по направлению колеи ***K*** тележки колеса были на строго одинаковом расстоянии от оси подвески груза (рис.2.3,*в*), что обеспечивает одинаковую нагрузку от веса груза на обе балки моста. При этом собственный вес тележки может быть распределен неравномерно. Для уменьшения этой неравномерности можно изменить расположение некоторых узлов на тележке, например, отодвинуть двигатель механизма подъема от редуктора с помощью вала вставки (см.[12], рис.VI.2.1,*д*).

В механизме передвижения тележки обычно используют вертикальные крановые трехступенчатые редукторы, расположенные посередине колеи тележки. На рис.VI.3.8,*а* [12] показана типовая схема, причем слева и справа от редуктора показано два варианта устройства тихоходной трансмиссии с зубчатыми муфтами с промежуточным валом и без него. При компоновке тележки мостового крана следует стремиться обеспечить ее минимальную высоту, что позволит снизить высоту цеха, в котором будет размещен кран. Для тележки консольного крана желательно иметь возможно меньшую базу, учитывая малые пути перемещения тележки.

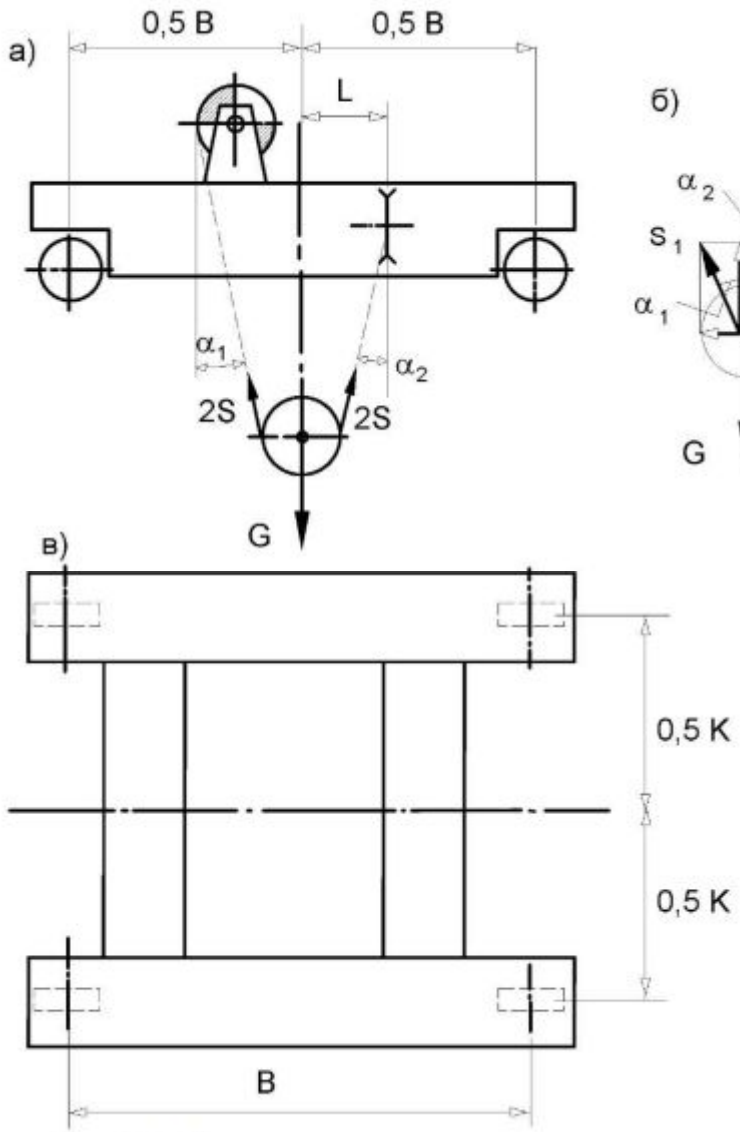


Рис.2.3. Схемы к размещению механизма подъема на тележке

Тележка мостового, козлового или консольного кранов представляется в трех проекциях - план и две боковые проекции, одна из которых должна показывать механизм передвижения. Во всех случаях дополнительно выполняются разрез по барабану (размещается в правом нижнем углу листа) и разрез по приводному колесу, если аналогичный разрез не показан на механизме передвижения крана. На виде со стороны барабана изображается положение подвески крюка и верхней обоймы полиспаста. На виде сверху пунктирными линиями изображается конструкция рамы и осевыми линиями показываются все крепежные болты. На трех проекциях тележки проставляются габаритные размеры, конструкторские базы и привязочные размеры. На разрезе по барабану указываются все сборочные размеры с допусками и посадками.

При проектировании механизма передвижения крана ([12], п.VI.6.) в первую очередь из условия отсутствия буксования должен быть решен вопрос о количестве приводных колес, что особенно важно для консольного крана, так как существенно влияет на компоновку механизма. Механизм передвижения крана должен быть представлен на чертежах в двух проекциях с необходимыми разрезами совместно с трансмиссией и приводным колесом или ходовой тележкой и несущей металлоконструкцией.

На второй стадии проекта дополнительно к указанным в п.2.2 расчетам должны быть произведены для механизма подъема:

а) определение длины барабана с проверкой углов набегания канатов ([12], п.V.5).

б) расчет барабана и его оси (вала) на прочность, расчет и выбор подшипников его опор, расчет крепления каната к барабану и элементов, передающих крутящий момент на барабан ([12], п.V.5).

в) расчет осей и выбор подшипников для неподвижных блоков полиспаста ([12], п.V.2).

Для механизмов передвижения дополнительно к указанным в п.2.2 расчетам необходимо сделать:

а) расчет валов приводных колес и выбор подшипников их опор ([12], п.V.2).

б) для консольных кранов определение диаметров горизонтальных колес, расчет их осей и выбор подшипников ([12], п.V.2, V.8).

2.3.2. Краны стрелового типа

В поворотных кранах компоновка и параметры механизмов существенно зависят от конфигурации и размеров несущей конструкции. Поэтому одновременно с компоновкой механизмов надо компоновать весь кран, чтобы определить условия расположение механизмов, положение опор, координаты центров масс, наветренные площади, необходимые для расчета механизмов вращения и изменения вылета.

По компоновке механизмы вращения кранов могут быть с горизонтальным ([12], рис.VI,4.13,*а*,*б*) и вертикальным (рис.VI,4.13,*в*,*г*) расположением двигателя. Они обычно снабжены фрикционными муфтами предельного момента ([12], рис V.2.38, V.2.39), установленными возможно ближе по кинематической цепи к валу приводной шестерни. Механизмы вращения с вертикальным расположением двигателя (фланцевого, с встроенным тормозом) более компактны, позволяют избежать конических, червячных и других передач, имеющих малую надежность или низкий КПД, проще в обслуживании и легче.

У настенно-поворотного крана с тележкой с канатной тягой на схеме крана намечаются места расположения механизмов подъема и передвижения тележки. Обычно механизм подъема располагается ниже механизма передвижения тележки, что связано с ограничением углов набегания каната на барабан.

Для механизма подъема используют простой или сдвоенный полиспаст кратностью два.

На компоновке и чертеже механизма подъема (выполненных в трех проекциях) должна быть показана рама, поддерживающая элементы механизма, и связанная с ней часть металлоконструкции крана. Механизм может быть собран на отдельной раме, которая закрепляется на специальной площадке металлической конструкции, или установлен непосредственно на платики, приваренные на металлической конструкции (см.рис.3.8.). Первый вариант более технологичен.

Расстояние от оси вращения крана до стены должно быть достаточным, чтобы между стеной и наиболее выступающей точкой оставалось 100...200 мм. Для того, чтобы расстояние от оси вращения крана до стены было минимальным, следует располагать механизм подъема так, чтобы отдельные его части выступали за пределы металлической конструкции по возможности одинаково с обеих сторон. При этом, однако, возникают компоновочные трудности, так как середина барабана должна совпадать с продольной осью крана, и тогда металлоконструкция крана (ее боковые грани) может “пронизывать” механизм. Для решения этого противоречия иногда приходится отказываться от традиционного соединения барабана с редуктором, выносить редуктор за боковую грань остова и переносить тормоз на другой конец вала двигателя.

При компоновке механизма передвижения тележки следует обратить внимание на то, чтобы обратная ветвь каната механизма передвижения не пересекалась с подъемными канатами. Механизм передвижения с канатной тягой компонуется с целью проработки общей компоновки крана и на отдельном листе чертежа, как правило, не изображается.

Тележка представляется на одном листе чертежа формата А1-А2 в двух проекциях с разрезами по осям блоков и ходовым колесам. На этом же листе изображается весь оголовок стрелы с отклоняющим блоком механизма передвижения тележки и креплением каната механизма подъема или отклоняющего блока.

При расположении механизма вращения как вверху, так и внизу его следует ориентировать вдоль стены. Зубчатое колесо связывается с металлической конструкцией крана болтами. Червячная передача (с вертикальным валом червячного колеса) для удобства крепления к раме конструируется с корпусом высотой от оси червяка до подошвы, равной высоте центров вала двигателя.

Механизм вращения изображается на чертеже в двух проекциях с разрезом по червячному редуктору и с подробной проработкой элементов муфты предельного момента. Разрез по червячному редуктору может быть представлен отдельно от чертежа механизма в более крупном масштабе.

У стреловых кранов на рельсовом ходу или на колонне механизмы подъема, вращения и изменения вылета на общей платформе располагаются так, чтобы их вес способствовал уменьшению веса противовеса. При этом для улучшения условий набегания канатов на барабан середины барабанов должны совпадать с осью стрелы или колонны.

У молотовидного крана механизм подъема на консоли противовеса располагается дальше от оси вращения крана, чем механизм передвижения тележки, так как канаты последнего проходят на меньшей высоте, чем канаты механизма подъема. Следует также обратить внимание на то, чтобы обратная ветвь каната механизма передвижения тележки не пересекалась с подъемными канатами. С помощью сответствующих проекций и разрезов должны быть подробно разработаны узлы соединения металлической конструкции крана с неподвижной колонной. Особое внимание следует обратить на компоновку невращающегося зубчатого венца механизма вращения, который закреплен на верхней части колонны, внутри вращающейся металлической конструкции крана.

У велосипедного крана механизмы следует располагать по возможности симметрично относительно продольной оси крана с тем, чтобы отдельные их части выступали за пределы конструкции одинаково с обеих сторон. При компоновке механизма передвижения следует обеспечить отсутствие буксования колес при пуске и торможении. Из этого условия определяется количество приводных колес, которое существенно влияет на конструкцию механизма. Механизм вращения удобнее размещать внизу, на ходовой тележке, вместе с механизмом передвижения крана. Особое внимание следует обратить на взаимное расположение неподвижных частей механизма вращения по отношению к вращающейся металлоконструкции крана и к трансмиссионному валу механизма передвижения, а также расположению каната механизма подъема, идущему к барабану, и металлоконструкции крана. На чертежах должна быть изображена ходовая тележка с механизмами передвижения, вращения и колонной, а также разрезы по редуктору механизма вращения и приводному колесу.

Дополнительно к указанным в п.2.2 расчетам для стреловых кранов должны быть произведены для механизма вращения:

а) расчет осей (валов) и подшипников опорных узлов ([12], п.V.2);

б) расчет элементов опорно-поворотного устройства ([12], п.V.2, V.8, VI.9);

в) расчет колонны и ее закреплений ([12], п.VI.9);

г) расчет крепления зубчатого колеса к металлоконструкции крана;

д) для тележек с канатной тягой - расчет осей блоков и колес, выбор подшипников ([12], п.V.2).

Дополнительно к указанным в п.2.2 расчетам должны быть произведены для механизма изменения вылета:

а) определение длины барабана ([12], п.V.5);

б) расчет узла крепления тягового элемента к стреле;

в) расчет осей и выбор подшипников для направляющих блоков ([12], п.V.2).

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

3.1. Общие требования и последовательность проектирования

Объем работ по проектированию несущей конструкции крана, метод расчета, то есть расчет по допускаемым напряжениям (МДН) или предельным состояниям (МПС), и перечень элементов, которые должны быть разработаны подробно, устанавливается руководителем выпускной работы и консультантом по данному разделу. Процесс проектирования конструкции включает следующие основные разделы ([10], с.12):

- Выбор и обоснование типа конструкции;
- Выбор и обоснование статической схемы конструкции;
- Расчетные нагрузки (определение динамических коэффициентов, инерционных и ветровых нагрузок и т.п., составление таблицы нагрузок);
- Выбор геометрических параметров статической схемы;
- Выбор материала для металлической конструкции;
- Проектирование основных несущих элементов с учетом условий прочности, жесткости, общей устойчивости, экономичности и технологичности;
- Проверка элементов конструкции на местную устойчивость;

– Проверка на сопротивление усталости;

– Проверка отдельных узлов на прочность и сопротивление усталости (шарнирных, болтовых и сварных соединений, узлов, воспринимающих местные нагрузки от ходовых колес тележки и т.п.).

Расчеты и обоснования выбора конструктивных решений включаются в пояснительную записку. На чертежах указываются основные геометрические параметры конструкции, присоединительные и привязочные размеры, толщины листовых элементов, обозначения сварных швов и технические требования на изготовление.

3.2. Рекомендации по проектированию конструкции

3.2.1. Статическая схема и тип конструкции

Определяется основная схема конструкции, количество несущих балок (однобалочные, двухбалочные конструкции), наличие консолей пролетного строения, относительное расположение основных элементов и опор, характер их соединения. Устанавливается тип конструкции (листовая, ферменная, шпренгельная, трубчатая). Для кранов с тележкой определяется расположение рельсов на ездовых балках.

3.2.2. Таблица нагрузок

Для систематизации информации о нагруженности конструкции для расчета по любому условию работоспособности (прочности, устойчивости, усталости и т.п.) используют понятия «расчетный случай нагрузок» и «комбинация нагрузок». Расчетные случаи устанавливают значения расчетных нагрузок, а комбинации – определяют список нагрузок, действующих одновременно, в момент разгона или торможения одного из механизмов ([4], с.137). Для расчета крановых конструкций принято три расчетных случая ([11], с.47-48; [5], с.121; [10], п.4; [6], с.137), а состав комбинаций зависит от типа крана. Систему расчетных нагрузок для удобства расчета представляют в виде таблицы нагрузок ([4], с.139; [5], с.121; [11], с.165, 174). Структура таблицы зависит от типа крана ([11], с.444-446, 453, 462, 478; [5], с.310, 365, 380, 415 и др.). При расчете по ме-

тоду предельных состояний ([11] с.165) значения нагрузок умножаются на коэффициенты перегрузок ([11],с.166-167, 449 и др.). Во избежании ошибок следует помнить, что расчеты по всем условиям работоспособности выполняются по нагрузкам, соответствующим конкретным комбинациям нагрузок.

Для удобства пользования таблицей следует веса и инерционные силы основных элементов конструкции разнести в разные строки. Например, отдельно вес пролетного строения, отдельно вес ног для козлового крана, вес стрелы и т.д., а также силы инерции от массы пролетного строения, ног и пр. Данные о весах кранов, металлических конструкций и тележек можно найти в табл.2.2, а также в ([11], с.430; [12], гл.2-5).

Массу груза для расчета как по первому, так и по второму расчетным случаям следует брать равной номинальной грузоподъемности крана. Значение коэффициентов толчков принимают по рекомендациям ([11], с.69,135). При этом следует обращать внимание на то, что для кранов мостового типа при определении коэффициентов толчков в комбинациях «b» и «c» следует использовать скорости передвижения, соответственно, крана и тележки. Если ход тележки не превышает мерной длины рельса ([12], с.325,326), примечания и табл.], то коэффициент толчков для комбинации "c" принимают равным единице.

Динамический коэффициент при работе механизма подъема вычисляется по формуле (1.2.19) ([11], с.63). Частоты собственных колебаний находятся по формуле (1.2.20), в которой допущена опечатка, она должна иметь вид

$$p_{1,2} = \sqrt{0{,}5\left[\left(\frac{c_к + c_м}{m_м} + \frac{c_k}{m_г}\right) \mp \sqrt{\left(\frac{c_к + c_м}{m_м} + \frac{c_k}{m_г}\right)^2 - \frac{4\,c_k\,c_м}{m_м\,m_г}}\right]}.$$

Жесткость металлической конструкции на данной стадии расчета можно принимать исходя из ее допустимого прогиба, как $c_м \cong \frac{\beta Q g}{L\left[f/L\right]}$, где g - ускорение свободного падения; Q - грузоподъемность; β = 1,1 .. 1,3 - поправочный коэффициент (меньшие значения для стреловых кранов); L - характерный размер конструкции (пролет, вылет стрелы); $\left[f/L\right]$ - допустимый относительный прогиб. Эта величина для мостовых кранов принимается в зависимости от группы режима работы по ([11], с.428), а для козловых по ([11], с.440). Для кранов с консольной стрелой допустимо полагать $\left[f/L\right]$=1/300 .. 1/400. Характеристики

полиспаста для расчета динамического коэффициента берутся из расчета механизма подъема.

Горизонтальные инерционные нагрузки при работе механизмов передвижения и вращения определяются по указаниям ([11],с.70, 165, Примечания и пр.). Рекомендации по определению ветровых нагрузок для кранов, работающих на открытом воздухе, см. ([11], с.52-59). Следует иметь ввиду, что направление ветра при расчетах на прочность по второму расчетному случаю для каждой комбинации нагрузок выбирается таким образом, чтобы ветровая нагрузка суммировалась с горизонтальной инерционной нагрузкой или создавала бы наиболее неблагоприятное загружение рассчитываемого элемента. При этом наветренная площадь конструкции по разным комбинациям получается разной в зависимости от выбранного направления ветра.

3.2.3. Выбор геометрических параметров статической схемы

На данном этапе из условий устойчивости крана, ограничения перекосов, технологичности и общей компоновки устанавливаются конкретные размеры основных элементов, база для мостовых, козловых, консольных, велосипедных кранов, длина стрелы и противовесной консоли, расстояние между горизонтальными роликами в консольных кранах, высота колонны и т.д. Рекомендации см. п.3.4. Для ферменных конструкций следует установить конфигурацию и тип решетки, а также высоту фермы, ([5], с.233-234). После определения всех размеров следует начертить в масштабе расчетную схему металлической конструкции, что позволит проконтролировать принятые решения.

3.2.4. Выбор материала

В тех случаях, когда преподавателем не указана марка стали для металлической конструкции, ее следует выбирать из рекомендуемых ([11], п.1.1; [5], гл.1; [10], п.3) в зависимости от условий эксплуатации, вида и толщины применяемого проката. Так для конструкций слабо нагруженных, но с большими пролетами, где сечение будет выбираться по условию жесткости, целесообразно использовать дешевою малоуглеродистую сталь Ст3сп (ГОСТ 380-71*) или для трубчатых конструкций сталь 20 (ГОСТ 8731-74*). Для конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе, сечение которых выбирается из условия

прочности, следует применять низколегированные стали 09Г2С, 10ХСНД, 14Г2АФ и т.д. (ГОСТ 19282-73*, ГОСТ 19281-73*). Если условием, определяющим сечение несущих элементов, является сопротивление усталости, то можно применять малоуглеродистые стали Ст3сп или 20, так как сварные узлы из этих сталей имеют практически такие же пределы выносливости, как и узлы из низколегированных сталей. Но если такая конструкция работает в условиях низких температур или требует проката больших толщин (свыше 25-30 мм), то следует применять низколегированные стали.

В некоторых случаях после компоновки основного сечения и выполнения расчетов на прочность, устойчивость и сопротивление усталости, когда становится ясно, какое из условий работоспособности является определяющим, бывает целесообразно заменить выбранную сталь на более подходящую и скорректировать расчет и конструктивное решение.

3.2.5. Компоновка основных сечений

Проектирование сечений следует начинать с основного конструктивного элемента, в кранах мостового типа - с главной балки, в стреловых кранах со стрелы. Главные балки кранов мостового типа, а также стрелы, по которым движется грузовая тележка, обычно выполняются коробчатого сечения или в виде составных двутавров. Ширина пояса и толщина стенок для них задаются из конструктивных соображений ([11], с.348-349). В тех случаях, когда конструкция работает на открытом воздухе, толщины поясов и стенок не рекомендуется выбирать менее 6 мм.

При назначении высоты балок (Н) учитываются два условия. Первое из них - условие жесткости, то есть ограничение прогиба балки от подвижной нагрузки. Из этого условия для двухопорных балок рекомендуется иметь $H/L \le 1/15 \,..1/20$ ([5], с.165). Следует отметить, что выполнение этого условия не заменяет проверку жесткости балки, но дает возможность предварительно учесть данный фактор. Второе условие заключается в обеспечении, по возможности, минимальной массы конструкции. Для этого вычисляется оптимальная высота балки ($H_{\text{опт}}$), то есть такая высота, при которой масса балки с ранее принятой толщиной стенки и требуемым по условию прочности моментом сопротивления будет минимальной ([11], с.339-340; [5], с.163-165). Назначаемая высота балки должна удовлетворять первому условию и не очень сильно отли-

чаться от оптимальной (отклонение на ± 20% вполне допустимо). Толщины поясов балок определяются из условия прочности по нагрузкам комбинации II*a*. Высоту коротких не основных балок, масса которых составляет малую долю общей массы конструкции (концевые балки, противовесные консоли, рамы тележек и т.д.), можно не оптимизировать и назначать ее из конструктивных соображений, руководствуясь условием жесткости, удобством компоновки конструкции и размещения механизмов.

После определения основных размеров сечения его необходимо изобразить в масштабе и выполнить проверку прочности по комбинации II*b*. При определении геометрических характеристик сечения (площади, моментов инерции и сопротивления) можно не учитывать ребра жесткости, галереи и прочие вспомогательные элементы. Для прочностного расчета каждого элемента в записке приводится расчетная схема с соответствующими нагрузками и необходимые эпюры моментов и перерезывающих сил или линии влияния.

Определение усилий в стержнях простых плоских ферм производится аналитически, для расчета сложных пространственных ферм следует использовать численные методы, реализованные в виде компьютерных программ, имеющихся на кафедре. Сечения растянутых стержней определяют из расчета на прочность и ограничение гибкости ([5], с.239-240; [11], с.367-369). При проектировании сжатых стержней производится расчет на устойчивость с учетом условия ограничения гибкости ([4], п.15.2; [5], с.240-241; [10], п.5.2; [11], с.368-369). Расчету подлежат наиболее загруженные стержни при тех положениях нагрузки, которые создают в них наибольшие усилия. Ферма должна быть спроектирована так, чтобы в ней использовалось не более 2-3 типоразмеров профилей.

3.2.6. Проверка статической жесткости металлической конструкции

Эта проверка осуществляется по условию $f/L \le [f/L]$, которое ограничивает относительное значение прогиба f, возникающего от действия только подвижной нагрузки. Определение прогибов балочных и рамных конструкций рассмотрено в ([4], п.5.6). Прогибы ферм находятся численными методами с помощью соответствующих программ или по упрощенной методике ([11], с.94; [5], с.257-258). Рекомендации по определению прогибов в конструкциях кон-

кретных типов приведены в ([11], с.434, 503-504). См. также ссылки на допустимые значения относительного прогиба в п.3.2.2.

3.2.7. Обеспечение общей устойчивости изгибаемых балок

Данная проблема связана с возможностью потери плоской формы изгиба балками открытого сечения, т.е. двутаврового, швеллерного и т.п. Балки замкнутого сечения (коробчатые, трубчатые) практически не могут потерять общую устойчивость при изгибе, так как. имеют очень большую жесткость на кручение, поэтому для них данный расчет не производится. Общая устойчивость проверяется по методике, кратко изложенной в ([11], с.385-389). Для практических расчетов лучше использовать материалы СНиП II-23-81*. Расчет на устойчивость производят по нагрузкам второго расчетного случая.

3.2.8. Обеспечение местной устойчивости элементов балок

Для обеспечения требуемой несущей способности балок и стержней их сжатые листовые элементы (пояса, стенки) при нагружении должны деформироваться не теряя плоской формы. Искривление, нарушение плоской формы поясов и стенок под действием сжимающих напряжений называется потерей местной устойчивости ([5], п.33; [10], п.5.2; [11], с.389-397).

На местную устойчивость проверяют те зоны поясов и стенок, которые в процессе работы крана оказываются загруженными наибольшими по абсолютной величине нормальными сжимающими, касательными или сжимающими и касательными напряжениями. Расчет на местную устойчивость производят по комбинациям нагрузок II*a* и II*b*.

В поясах однопролетных балок с подвижной нагрузкой наибольшие нормальные напряжения возникают в центральной панели при расположении тележки приблизительно в середине пролета. Для этой панели и ведется проверка сжатого пояса на местную устойчивость. Пояса одностенчатых балок следует, по возможности, проектировать так, чтобы они сохраняли устойчивость без ребер ([5], с.223-224; [10], п.5.2; [11], с.396). Пояса коробчатых балок проверяются на устойчивость по рекомендациям ([11], с.396, ф-ла (117) при $\alpha = 0$; 5, с.224).

Стенки однопролетных балок проверяются на местную устойчивость в середине пролета, в крайней панели при расположении тележки у опоры, а также на расстоянии четверти пролета от опоры ([5], с.215-216, [10], с.37 - 38, [11], с.392 - 394). Для балок с рельсом над стенкой в этих расчетах следует учитывать влияние сжатия стенки от местного давления ходовых колес тележки. При этом значения действующих местных напряжений определяются по ([5], с.173; [11], с.382).

Пояса и стенки консольных балок проверяются на местную устойчивость в панели около заделки, где действуют наибольшие нормальные и значительные касательные напряжения при положении тележки на максимальном вылете ([5], с.217-219; [11], с.393-394). При этом местные напряжения, естественно, не учитываются.

В случае невыполнения условий местной устойчивости необходимо принимать решение о размещении ребер жесткости ([5], с.212-224; [10], п.5.2; [11], с.390-398). Рекомендации по назначению размеров ребер даны в ([5], с.323; [11], с.397). По результатам расчетов может оказаться целесообразным иметь разные расстояния между диафрагмами в середине панели и у опор или разное количество продольных ребер на разных участках балки. Такие конструктивные решения вполне возможны, но должны быть достаточно рациональны и технологичны. Если расчеты показывают, что условие местной устойчивости поясов и стенок соблюдается и без поперечных ребер и диафрагм, то они устанавливаются на расстоянии (1,5 .. 2) H для обеспечения неизменяемости сечения.

3.2.9. Общая компоновка конструкции

Одновременно с выполнением проверочных расчетов на прочность и местную устойчивость производится компоновка конструкции. Она выполняется на миллиметровке в достаточно крупном масштабе. Сначала вычерчиваются основные несущие конструкции и их сечения, размещаются ребра жесткости. Потом компонуются отдельные узлы, т.е. присоединения главных балок к концевым и к ногам, присоединения стрелы к башне и т.д. При этом следует предусмотреть места для размещения механизмов и кабины, установить расположение монтажных стыков, скомпоновать узлы крепления балансиров, опорных роликов, противовеса и пр.

На компоновочном чертеже производится размещение стыковых сварных соединений на элементах ферм, поясах и стенках балок. При этом следует учитывать, что стандартный прокат по ГОСТ 19903-74 выпускается листами при толщине до 6 мм - длиной до 6000 мм; при толщине 8 - 10 мм - до 12000 мм; при толщине 12 - 25 мм - до 9000 мм; при толщине 26 - 40 мм - до 9500 - 12000 мм (большие длины при меньшей ширине). Ширина листов в основном от 0,7 до 2 - 2,5 м. Для поясов балок целесообразно использовать широкополосный прокат, который выпускается по ГОСТ 82-70 шириной от 200 до 1050 мм (ряд ширин 200 ... 300, 320, 340, 360, 380, 400, 450, 480, 500, 530, 560, 600, 630, 650, 670, 750, 800 ... 1050 мм).

Компоновочный чертеж, выполненный в масштабе, позволяет избежать многих ошибок, проверить возможность сборки и сварки элементов и найти конструктивные решения соединительных и нерасчетных узлов.

3.2.10. Расчет на сопротивление усталости

Расчет на сопротивление усталости выполняется как проверочный после компоновки основных несущих конструкций, т.к. для его выполнения необходимо знать все параметры сечения и конструктивные особенности рассчитываемого узла. Этот расчет проводится с целью проверки невозникновения усталостной трещины *в конкретном месте конструкции при определенном режиме эксплуатационного нагружения в течении заданного срока службы*. Проверка осуществляется для одной-двух наиболее опасных точек пролетного строения, стрелы или ходовой балки по методике, изложенной в лекциях по курсу «Металлические конструкции машин». Для расчета используется программное обеспечение, имеющееся в ВЦ кафедры ПТСМ (отделение ПТМ).

Для кранов, эксплуатируемых в режиме 5К-8К, условие сопротивления усталости может оказаться невыполненным, тогда следует предпринимать те или иные конструктивно-технологические мероприятия ([10], п.7). Если действующие напряжения существенно превышают допустимый уровень, приходится их уменьшать путем увеличения момента инерции сечения, т.е. утолщения поясов, а иногда и стенок. В таких случаях расчеты на прочность, жесткость и местную устойчивость приводятся в расчетно-пояснительной записке в виде проверочных для окончательных размеров сечения. Если же действующие напряжения не значительно превышают допускаемое напряжения или расчет-

ное сопротивление, то можно рассмотреть возможность повышения предела выносливости ([10], п.7).

3.2.11. Проверка ездовых балок на прочность и сопротивление усталости в зоне местного давления колес тележки

Ездовыми называют балки, по которым движется грузовая тележка. На этих балках размещается рельс, который может быть установлен над стенкой или между стенками (рис.3.1, 3.2). Каждая из этих конструкций рассчитывается по соответствующей методике.

а) В балках с рельсом над стенкой (рис.3.1, *а*, *б*) наиболее опасным местом является сварное соединение стенки с поясом под рельсом. Именно там чаще всего возникают усталостные трещины. Это связано с действием циклически изменяющихся местных сжимающих напряжений от давления колеса тележки (P) и наличием местного изгиба этого узла под влиянием горизонтальной силы (T) от реборды колеса и смещения рельса и нагрузки P из плоскости стенки (рис.3.1, *в*).

Местные сжимающие напряжения в стенке $\sigma_м$ определяются по формулам, приведенным в ([11], с.382; [5], с.173). Для кранов режима работы 1К-4К допустимо применять соединение без разделки кромок (рис.3.1,*г*). При этом следует проверить шов на срез по условию, которое по методам допускаемых напряжений и предельных состояний, соответственно, имеет вид

$$\tau = \frac{\xi \sigma_м^{IIa} \delta_c}{2h} \le [\tau_{св}], \qquad \tau = \frac{\xi \sigma_м^{IIa} \delta_c}{2h} \le m_k R_y^{св}.$$

Здесь ξ = 1,5 - 2 - коэффициент неравномерности загружения швов, остальные обозначения, приведенные в этих формулах, пояснены в ([11], с.352). Для определения напряжения $\sigma_м^{IIa}$ используются нагрузки по комбинации IIа. Эти условия позволяют выбрать катет шва, который равен $k = h/t_ш$, где $t_ш$=0,7 для ручной сварки и $t_ш$=1,0 для автоматической. Если по этому расчету требуется катет $k \ge \delta_c$, то лучше использовать шов с разделкой кромок и полным проплавлением корня (рис.3.1,*д*). В этом случае шов на прочность не проверяется.

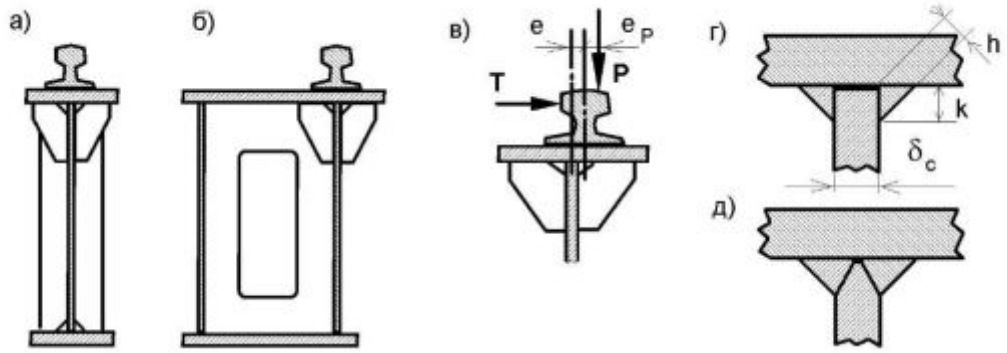


Рис.3.1. Схемы для расчета балок с рельсом над стенкой

Сварное соединение подрельсовой стенки с поясом в обоих случаях (рис.3.1,*г*,*д*) проверяется на сопротивление усталости по МДН или МПС, соответственно, по следующим условиям:

$$\sigma_{\text{м}}^{Ia} \le \frac{\sigma_{-\infty k}}{n} \qquad\qquad \sigma_{\text{м}}^{Ia} \le m_k k_o \frac{\sigma_{-\infty k}}{k_{\text{м}}}.$$

Здесь $\sigma_{м}^{Ia}$ вычисляется по нагрузкам комбинации Ia, остальные величины находят по рекомендациям: $\sigma_{-\infty k}$ - предел выносливости при цикле отнулевого сжатия, который определяется по таблицам ([11], с.147,149) при $1/R_\sigma = 0$ и $K = 4{,}0$ ([11], с.141); m_k, k_0, $k_м$ - см.([11], с.167-168).

Если условие прочности стенки не выполняется, применяют конструктивные мероприятия ([5], с.175-179; [11], с.382-383).

б) В балках с рельсом посередине пояса (рис.3.2,*а*) для обеспечения прочности пояса и рельса необходимо устанавливать короткие диафрагмы. Расстояние между ними определяется из условия прочности рельса на изгиб ([5], с.180; [11], с.383).

Пояс совместно с рельсом подвергается местному циклическому деформированию при прохождении колес тележки. При этом в нем возникают поперечные относительно оси балки местные изгибные напряжения ($\sigma_{м,п}$), которые могут привести к усталостному повреждению. Условие проверки пояса на сопротивление усталости по МДН и МПС имеет вид

$$\sigma_{\text{м.п}}^{Ia} \le \frac{\sigma_{ok}}{n}, \qquad\qquad \sigma_{\text{м.п}}^{Ia} \le m_k k_o \frac{\sigma_{ok}}{k_{\text{п}}}$$

Здесь напряжение $\sigma_{м}^{Ia} = \sigma'_y$ вычисляется по нагрузкам комбинации I*a* согласно рекомендациям ([5], с.182; [11], с.383, ф-ла (85)); σ_{ok} - предел выносливости при отнулевом цикле ($R_\sigma = 0$) при $K = 1{,}4$ ([11], с.148,150).

В случае невыполнения этих условий необходимо уменьшать расстояние между малыми диафрагмами или увеличить сечение рельса, обеспечив при этом достаточную ширину двухребордного колеса тележки.

При проходе колеса тележки над диафрагмой (рис.3.2, *в*,*г*) на ее верхней кромке возникают значительные местные сжимающие напряжения ($\sigma_{м.д}$), которые обычно приводят к разрушению сварного шва. Поэтому диафрагму можно не приваривать к поясу в этой зоне (рис.3.2,*а*). Длина этого участка $b = d + 2\delta_n$, где d - ширина подошвы рельса, $\delta_п$ - толщина пояса. Кромка диафрагмы проверяется на сжатие от местных напряжений ($\sigma_{м.д}$), которые вычисляются по методике ([5], с.183).

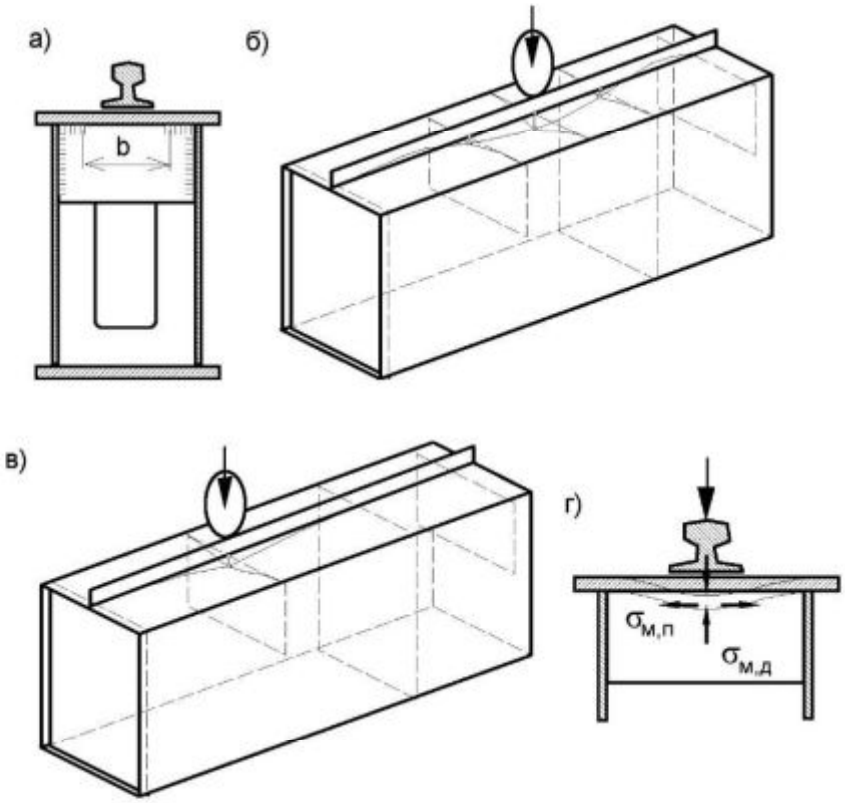


Рис.3.2. Схемы для расчета балок с рельсом между стенками

3.2.12. Проектирование узлов ферм

Если для стержней ферм использованы уголки и швеллеры, то в узлах лучше всего соединять их с помощью косынок, обеспечивая сходимость осей всех стержней в одной точке ([5], с.236-238; [11], с.363). Для определения размеров косынки необходимо вычислить требуемую длину сварных швов, присоединяющих отдельные стержни ([5], с.142, 237-238; [11], с.352). При этом каждый шов рассчитывается на усилие, действующее в присоединяемом стержне.

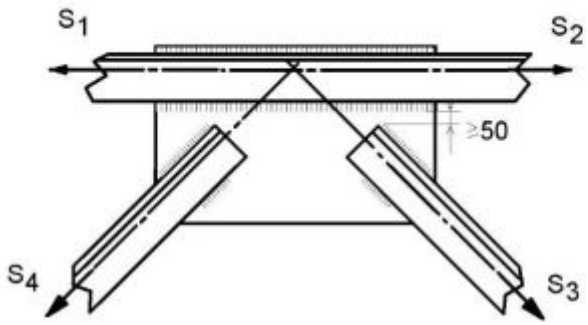


Рис.3.3. Схема узла фермы

Шов, присоединяющий пояс к косынке, рассчитывается на разность усилий в нем, т.е. $N = S_1 - S_2$ (рис.3.3). С целью унификации расчет выполняется для узла с наиболее нагруженными стержнями, и конструктивное решение распространяется на все остальные узлы. Назначаемая длина угловых швов должна быть не менее 60 мм и не более 50 катетов. Компонуя узел следует иметь в виду, что швы не рекомендуется располагать на расстоянии менее 50 мм друг от друга ([5], с.237-238). Отступления от этого правила возможны в слабонагруженных фермах, работающих в отапливаемых помещениях ([1], с.70-71).

В случае применения в ферме трубчатых стержней компоновку узлов следует производить с учетом рекомендаций ([5], с.147-148; [11], с.363-365). При проектировании пространственных конструкций узлы смежных плоских ферм обычно размещают в одном поперечном сечении ([5], с.232). Узлы таких ферм могут иметь самые разнообразные конструктивные решения, однако во всех случаях надо стремиться избегать скопления и пересечения сварных швов.

3.2.13. Проектирование шарнирных узлов

Шарнирные узлы в металлических конструкциях используются для присоединения к конструкции элементов с помощью осей. Для закрепления в конструкции неподвижной оси необходимо обеспечить ее опирание на два несущих листа, имеющих соосные отверстия (рис.3.4). Диаметр оси обычно выбирается из условия ее прочности на изгиб, а толщина опорных поверхностей листов - из условия смятия ([5], с.160-161; [11], с.359). Существует два технологических варианта обеспечения соосности отверстий в листах. В конструкциях сравнительно небольших размеров отверстия могут быть расточены в стенке после сварки. В этом случае толщина опорной кромки (t), используемая в расчетах на смятие, равна толщине стенки (исполнение 1 или 2), или, если ее не хватает, суммарной толщине стенки и приваренных накладок (рис.3.4,*а*, исполнение 3). Если этот вариант невозможен по технологическим причинам, то в стенке вырезают газом отверстие диаметром больше, чем требуется для оси, изготавливают накладки 1 с расточенными посадочными отверстиями, выстав-

ляют их на стенках 2, обеспечивая соосность с помощью фальшь-вала 3, и приваривают (рис.3.4,*б*). При этом расчетная толщина опорной кромки $t = t_н$. Накладки могут располагаться с одной или с двух сторон стенки, если есть доступ для сварки внутри конструкции.

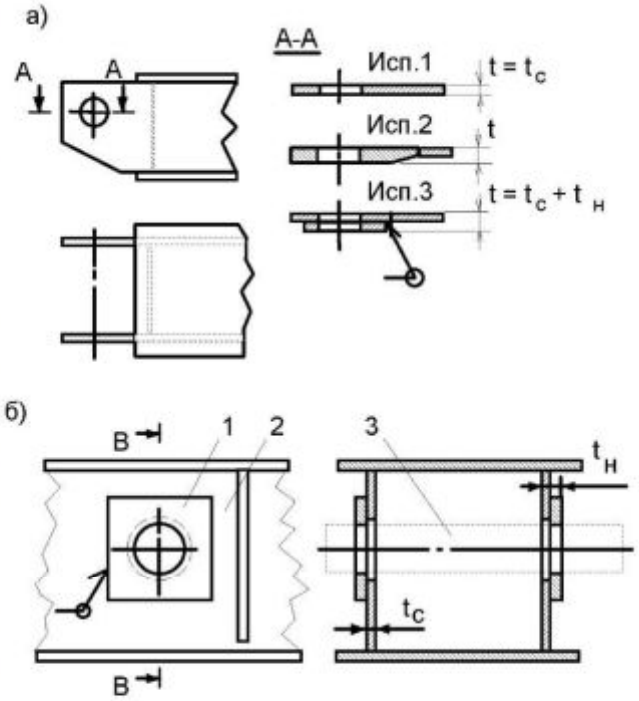


Рис.3.4. Схемы установки осей в металлической конструкции

Размеры накладок должны быть достаточно велики, во-первых, чтобы сварочные деформации при наложении шва по замкнутому контуру не искажали обработанное посадочное отверстие, и во-вторых, чтобы длина шва была достаточной по условию прочности для восприятия нагрузки, передаваемой от оси на кромку отверстия. По этому условию проводится проверка шва на срез по нагрузкам II расчетного случая.

3.2.14. Размещение и проектирование монтажных стыков

Конструкция должна содержать минимальное количество монтажных стыков, разделяющих ее на фрагменты, которые могут достаточно удобно транспортироваться по железной или автомобильной дороге. Монтажные стыки, по возможности, размещаются в тех сечениях, где действуют сравнительно не большие изгибающие моменты. Как правило, они выполняются в виде болтовых соединений, фланцевых или на накладках. Габариты погрузки, т.е. размеры, за пределы которых не должен выходить груз при размещении его на железнодорожной платформе, указаны в ([5], с.346; [11],с.418-420).

Болтовые соединения на накладках ([11], с.366, рис.III.1.16) обычно изготавливаются с применением высокопрочных болтов. Определение сдвигающего усилия, приходящегося на наиболее загруженный болт на стенке и поясе, при-

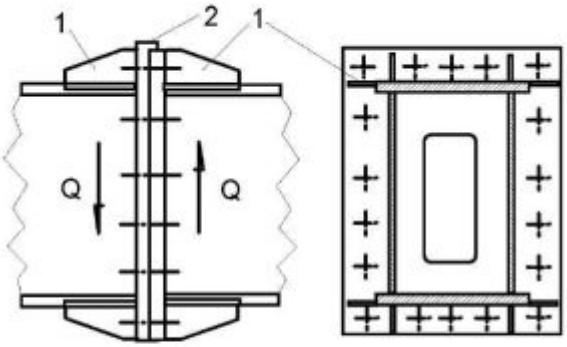


Рис.3.5. Схемы болтовых фланцевых соединений балок

ведено в ([5], с.157-158; [11], с.364-365). Выбор болта на известное усилие осуществляется по рекомендациям ([5], с.156, [11], с.356).

Методика проектирования болтовых фланцевых соединений приведена в ([5], с.158-159; [11], с.367). Фланцы изготавливаются из листов, в 2 .. 3 раза более толстых, чем пояса соединяемых балок и подкрепляются ребрами 1, которые обеспечивают жесткость фланца на отгиб и повышают прочность сварного соединения (рис.3.5). Для стыковки балок весьма больших размеров можно использовать фланцевые соединения с внутренним расположением болтов ([5], рис.4.6,*б*). Во фланцевых соединениях для восприятия перерезывающих сил целесообразно размещать пару штифтов или "зуб" 2, который можно получить после механообработки прилегающих поверхностей (рис.3.5).

3.2.15. Устройство галерей, площадок, лестниц и кабин

Для использования крана по назначению и его технического обслуживания необходимо оборудовать рабочее место машиниста и обеспечить проход обслуживающего персонала ко всем основным узлам и механизмам. Конструктор должен решить вопрос крепления кабины на металлической конструкции и установить галереи, площадки и лестницы, в соответствии с правилами ([9], п.4.11-4.13, [11], с.417-418). Все площадки и лестницы крепятся на кронштейнах, которые привариваются к основной металлоконструкции. Если площадки предназначены только для прохода людей (а не для размещения оборудования), то их кронштейны и перила рассчитываются на нормативную нагрузку, указанную на рис.3.6,*а* (нагрузки P_2 и P_3 действуют не одновременно). Кронштейны, поддерживающие площадки с оборудованием, рассчитываются на вес этого оборудования.

В тех случаях, когда галереи затрудняют перевозку конструкции, они могут размещаться на съемных кронштейнах, которые на месте монтажа навешиваются с помощью шарнирных соединений и потом привариваются (рис.3.6,*а*). Кронштейны должны устанавливаться на стенках напротив ребер жесткости или диафрагм. Перила целесообразно изготавливать унифицированными секци-

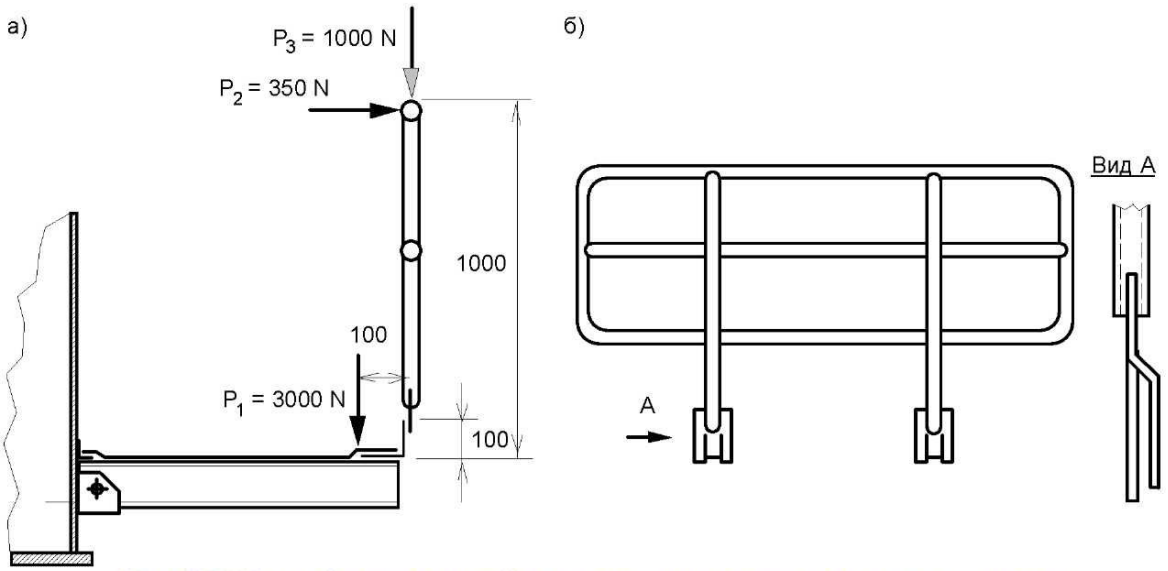
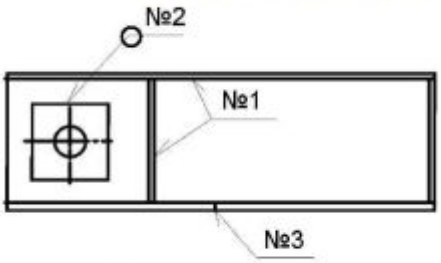


Рис.3.6. Устройство галерей и расчетные нагрузки на их элементы



№1 ГОСТ 5264-80 - Т3 Δ 6
№2 ГОСТ 5264-80 - Н1 Δ 6
№3 ГОСТ 8713-79 - С7 - АФ

ями из гнутых труб и приваривать к борту площадки при монтаже крана (рис.3.6,*б*).

Рис.3.7. Пример обозначения сварных швов

3.3. Технические требования к металлическим конструкциям кранов

Технология изготовления накладывает определенные требования на конструктивные решения, принимаемые на стадии проектирования. Так, необходимо обеспечить удобный доступ к местам выполнения сварных швов. Для этого надо продумать последовательность сварки конструкции ([7], гл.4). Следует иметь ввиду, что нельзя вести сварку в замкнутых объемах, узких каналах и щелях. Для обеспечения возможности приварки диафрагм к стенкам в коробчатых балках расстояние между стенками должно быть не менее 300-350 мм.

Для сварки прямых, длинных, непрерывных швов в нижнем положении следует использовать автоматическую сварку под флюсом по ГОСТ 8713-79, ГОСТ 11533-75. Короткие швы любой конфигурации следует изготавливать ручной сваркой (ГОСТ 5264-80) или полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа (ГОСТ14771-76). Обозначения швов выполняются по ГОСТ 2.312-72. На чертежах однотипные швы обозначаются одним номером, который пол-

ностью расшифровывается на одной из выносок или в специальной таблице в технических условиях (рис.3.7).

В результате неравномерного нагрева и остывания элементов конструкции в процессе сварки происходит искажение их формы и размеров (возникают сварочные поводки). Поэтому для обеспечения достаточно точного относительного расположения элементов конструкции и механизмов друг относительно друга сопрягаемые поверхности после сварки подвергают механической обработке. В частности механически обрабатываются прилегающие поверхности фланцев, места опирания букс, фундаменты механизмов и пр. Пример устройства фундамента, обеспечивающего соосность элементов механизма (двигателя, редуктора, тормоза и т.д.) по высоте показан на рис.3.8. Платики (1) фрезеруются после приварки для обеспечения указанных размеров ([7], с.234).

Технические условия на изготовление конструкции приводятся на листе над штампом. Там указываются сварочные материалы, которые выбираются в зависимости от материала конструкции, способа сварки и степени ответственности соединений. Так для ручной сварки конструкций из малоуглеродистых сталей используют электроды типа Э42, Э46, из низколегированных сталей - электроды типа Э46А, а для ответственных конструкций Э50А. Для полуавтоматической сварки в среде CO_2 используют проволоку диаметром 1.2-2.0 мм марок Св-08ГС, Св-08Г2С или Св-12ГС, последнюю - для конструкций из сталей 10ХСНД, 15ХСНД. Для сварки автоматом под слоем флюса применяют проволоку диаметром 3-6 мм, марки которой выбираются в зависимости от материала конструкций. Так изделия из малоуглеродистых сталей варят проволокой Св-08, Св-08А, Св-08ГА, а из НЛ сталей - Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2 ([7], с.189-194; [8], с.221-227).

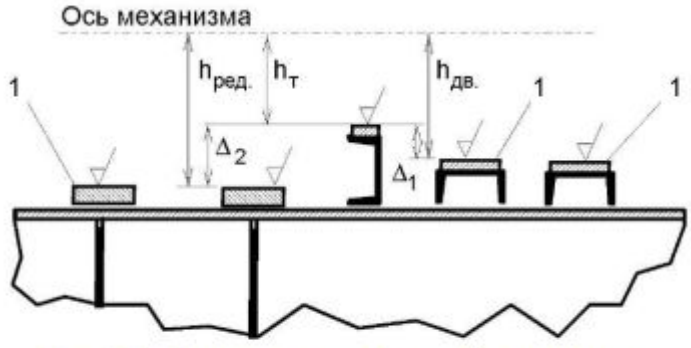


Рис.3.8. Пример устройства фундамента механизма

Далее в технических условиях указываются требования по механической обработке опорных платиков, фланцев, отверстий, которая производится после сварки конструкции. Требования к обеспечению точности их относительного расположения (соосности, перпендикулярности, параллельности и т.д.). Требования по совместной обработке отверстий, например, в болтовых соединениях с накладками, или по применению кондукторов. Приводятся указания по методам контроля качества наиболее ответственных швов ([10], п.8).

3.4. Особенности проектирования металлических конструкций кранов различных типов

3.4.1. Краны мостового типа

Мостовой кран. Методический и справочный материал по расчету данной конструкции представлен в книгах ([1], гл.2, 4, 12; [5], гл.9; [11], с.425-438). Весовые характеристики элементов кранов данного типа можно принимать по указаниям табл.2.2 и рекомендациям ([11], с.430; [12], гл.2-5). База крана устанавливается из соображений ограничения перекоса по рекомендациям ([5], с.304-305; [11], с.429). Если тип сечения главных балок не определен в задании, можно использовать варианты, приведенные в ([5], с.299; [11], с.426-427).

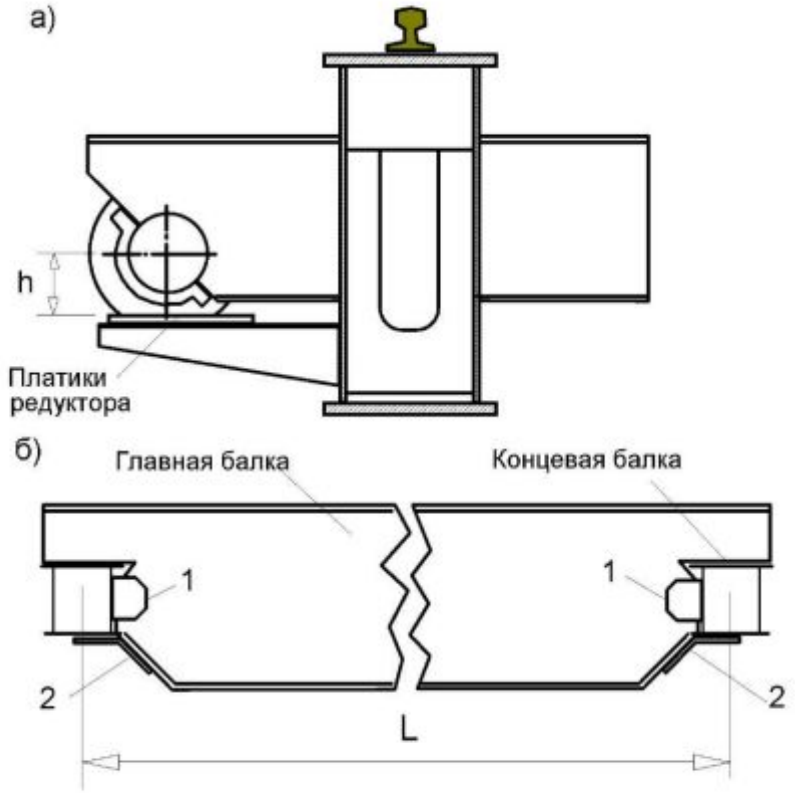


Рис.3.9. Схемы узлов металлической конструкции мостового крана

При проектировании особое внимание следует обращать на узел стыковки главной и концевой балки. Он может быть выполнен различными способами ([1], с.192), но при его компоновке необходимо обеспечить соосность выходного вала механизма передвижения, размещенного на галерее главной балки, и колеса, установленного в концевой балке (рис.3.9,*а*). Кроме того необходимо

обеспечить прочность соединения и выдержать заданный пролет. Последняя задача в типовых конструкциях решается с помощью компенсирующих накладок на стенках 1 и на нижних поясах 2 (рис.3.9,*б*). Конструкция концевых балок для моста ферменной конструкции существенно иная (см. атласы). Для обеспечения возможности перевозки по железной дороге мост крана имеет болтовые соединения на концевых балках, по одному или по два на каждой в зависимости от габаритов главных балок.

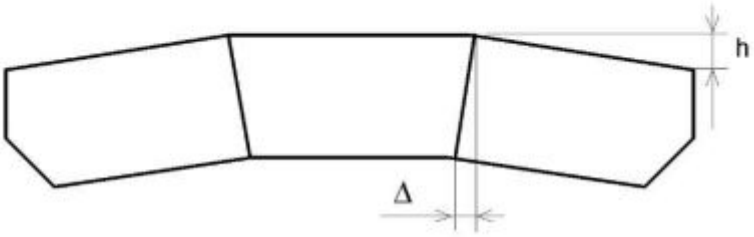


Рис.3.10. Схема устройства строительного подъема в главной балке

Если пролет крана превышает 17 м, то пролетное строение должно иметь строительный подъем, т.е. небольшой выгиб главной балки (или фермы) вверх с целью компенсации прогиба от собственного веса конструкции и частично веса груза. Стрелка этого прогиба принимается равной h = L/800 [11, с.437]. В балках он получается путем скашивания кромок листов, из которых собирается стенка и выгиба поясных листов (рис.3.10) ([7], стр,209). В фермах строительный подъем обеспечивается за счет того, что пояса изгибаются и расстояние между узлами на нижнем поясе делается меньше, чем на верхнем. Конкретные размеры конструктивных элементов, скосы листов в балках, длины панелей и раскосов в фермах вычисляются из геометрических построений. Схема устройства строительного подъема приводится на листе, где изображена главная балка.

Козловой кран. Методический и справочный материал по расчету данной конструкции представлен в книгах ([1], гл.2,4,13; [5], гл.11; [11], с.439-450), кроме того полезный материал приведен в книге [2]. Для определения весовых характеристик следует использовать табл.2.2, а также рекомендации для мостовых кранов и указания ([1], с.223-224; [11], с.443, 448).

База козлового крана назначается из условий ограничения перекоса по рекомендациям ([5], с.358) и проверяется по условию устойчивости по нагрузкам комбинации II*b* ([6], с.369-370; [11], с.191-192) (В [11] с.191, второй абзац сверху, допущена опечатка в формуле, следует читать

$$M_o = M_B + M_\Gamma \le M_y / 1{,}25 .$$

В кранах с консолями конструкция ног должна обеспечивать беспрепятственный проход груза на консоли ([2], с.15-16). Ноги козлового крана рассчитываются по рекомендациям ([5], с.364-368) по нагрузкам комбинации II*b* и II*c* ([5], с.365; 11, с.444). Следует иметь ввиду, что в табл. III.2.3 [11] в графах I*c* и II*c* в первой строке допущена опечатка, вместо $n_1 k'_T G_1$ и $n_1 k_T G_1$ следует в обоих случаях читать $n_1 G_1$. Кроме того надо помнить, что коэффициент толчков для комбинаций I*b* и II*b* находится по скорости передвижения крана, а для I*c* и II*c* по скорости передвижения тележки ([11], с.69).

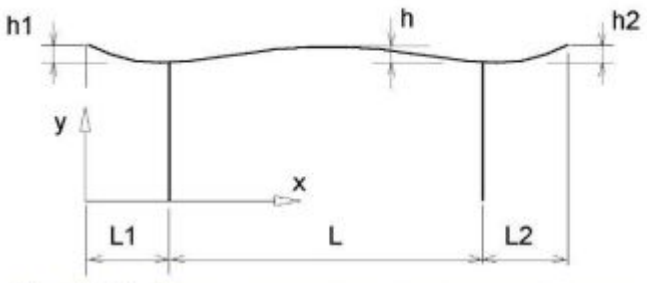


Рис.3.11. Схема строительного подъема пролетного строения козлового крана

Рекомендации по устройству строительного подъема в пролетных строениях козловых кранов те же, что и для мостовых (см. п.3.5.1). Для кранов с консолями строительный подъем выполняется по схеме, приведенной на рис.3.11. Линия строительного подъема должна быть достаточно плавной. Стрелки подъема на консолях

$$h_1 = -f_{1,к} - 0{,}5\, f_{1,T,Г}; \qquad h_2 = -f_{2,к} - 0{,}5\, f_{2,T,Г},$$

где $f_{1,к}$, $f_{2,k}$ - прогибы консолей от собственного веса; $f_{1,T,Г}$, $f_{2,T,Г}$ - прогибы консолей от веса тележки с номинальным грузом при расположении ее на конце консоли. Знаки (-) связаны с тем, что ось *y* направлена вверх, поэтому прогибы отрицательны, а строительный подъем положителен.

Консольный кран. Металлическая конструкция этого крана может быть выполнена в ферменном или балочном варианте. Вес тележки для такого крана определяется также, как для мостового. Вес крана находится по указаниям табл.2.2. За неимением более точных данных распределение весов по элементам крана приходится делать приблизительно.

Таблица нагрузок для этого крана в основном та же, что и для мостового. Для расчета каждого элемента конструкции следует определять, при каком положении тележки в нем появляются максимальные расчетные усилия, и по какой комбинации следует определять действующие нагрузки.

3.4.2. Стреловые краны

Велосипедный кран. Металлическая конструкция этого крана может быть выполнена в виде ферменной или листовой. Второй вариант более технологичен. В состав графической части проекта по указанию руководителя могут быть включены чертежи поворотной части, нижней ходовой балки и колонны.

Таблица нагрузок для велосипедного крана (табл.3.1) включает три комбинации нагрузок. Комбинация «*a*» соответствуют отрыву груза от основания или торможению его на спуск, «*b*» - разгону (торможению) механизма передвижения, а комбинации «*c*» - разгону (торможению) механизма поворота. Весовые параметры крана находятся по табл.2.2. Распределение суммарного веса крана по элементам делается приближенно. Значения коэффициентов толчков и инерционных сил определяются по рекомендациям ([5], с.61-64; [11], с.69-70). Угол соответствует отклонению каната при косом подъеме и берется равным 6°.

Для расчета любого элемента конструкции на прочность следует выбрать такую комбинацию нагрузок, расположение стрелы относительно кранового пути и направление ветра (если кран работает на открытом воздухе), при которых в рассчитываемом сечении возникают наибольшие изгибающие моменты. Так, проектировочный расчет стрелы следует делать по комбинации II*a* и ее положение в данном случае значения не имеет. Проверочный расчет стрелы делается по комбинации II*b* при положении стрелы поперек пути или по комбинации II*c*, в зависимости от того какая сила больше $P_{ип}$ или $P_{ив}$ (см. табл.3.1). Расчет колонны следует выполнять по комбинации II*a* при положении стрелы вдоль пути, т.к. в этом случае исключается из работы верхние ролики. Расчеты нижней ходовой балки проводят по комбинации II*a* при положении стрелы как вдоль, так и поперек пути.

При проектировании противовеса необходимо определить его объем. Противовесы изготавливают из бетона (плотность 2200 .. 2500 кг/м^3), или чугуна (плотность 7000 кг/м^3). Бетон дешевле, но противовес получается более громоздкий. Для удобства монтажа противовесы собирают из отдельных блоков. Крепление противовеса должно обеспечивать восприятие весовых и горизонтальных инерционных нагрузок.

Таблица 3.1.

Таблица нагрузок для расчета металлической конструкции велосипедного крана

Нагрузки	I расчетный случай			II расчетный случай		
	Комбинации нагрузок					
	Ia	Iв	Ic	IIa	IIв	IIc
Вес поворотной части	$G_{пч}$	$k_{т1}G_{пч}$	$G_{пч}$	$G_{пч}$	$k_{т2}\ G_{пч}$	$G_{пч}$
Вес неповоротной части	$G_{нп}$	$k_{т1}G_{нп}$	$G_{нп}$	Gнп	$k_{т2}$ Gнп	$G_{нп}$
Вес груза	$\psi_1 Q\ g$	$k_{т1}\ Q\ g$	$Q\ g$	$\psi_2 Q\ g$	$\kappa_{т2} Q\ g$	$Q\ g$
Силы инерции касательные	-	$0{,}5\ P_{ип}$	$0{,}5\ P_{ив}$	-	$P_{ип}$	$P_{ив}$
Силы инерции центробежные	-	-	$0{,}5\ F_{ив}$	-	-	$F_{ив}$
Отклонение каната	-	-	-	$\alpha_{кп}$	-	-
Ветровая нагрузка	-	-	-	$P_в$	$P_в$	$P_в$

Кран на колонне с тележкой. При разработке поворотной части крана следует учитывать размещение механизма вращения. Если он установлен сверху, на поворотной части, то необходимо обеспечить размещение открытого зубчатого колеса на колонне между стенками башни и взаимодействие этого колеса с шестерней механизма. При размещении механизма вращения внизу, на неподвижном фундаменте, следует обратить внимание на компоновку нижней опоры крана, где закрепляются ролики и зубчатое колесо. Этот узел должен быть достаточно жестким и приспособленным для сборки и разборки. Для регулировки зазоров ролики устанавливаются на эксцентричных осях. При проектировании узла установки противовеса следует руководствоваться рекомендациями из раздела «велосипедный кран». Таблицу нагрузок для крана на колонне можно строить по образцу (табл.3.1), исключив из нее комбинацию "*b*". Рекомендации по расчету фундаментной плиты можно найти в ([2], с.464-466; [5], с.290-291). Остальные рекомендации даны в разделе «велосипедный кран».

Настенный поворотный кран. Вес крана этого типа находится по указаниям табл.2.2. Таблица нагрузок для кранов данного типа соответствует структуре табл.3.1, из которой следует исключить комбинацию "*b*". При этом комбинация "*c*" соответствует разгону/ торможению механизма вращения. При проектировании конструкции следует обращать внимание на то, чтобы канаты механизмов подъема и передвижения на задевали за стержни, элементы механизмов и друг друга.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРОЧНЫХ РАБОТ

4.1. Общие положения

Условия эксплуатации машины определяют технические требования, предъявляемые как к целой машине, так и к отдельным ее элементам. Соответствие этим требованиям характеризует качество машины. Одним из основных показателей качества является технологичность, то есть свойство, обусловленное оптимальностью затрат на изготовление машины и ее эксплуатацию. Технологичность объектов машиностроения наряду с другими свойствами определяется приспособленностью к сборке и разборке. Это свойство в значительной степени характеризует качество проектирования и должно обеспечиваться при выборе соответствующих конструктивных решений.

Машина как и любое сложное изделие состоит из узлов и отдельных деталей. В процессе их проектирования необходимо предусмотреть кроме основных назначений узлов и деталей (передача усилий и моментов, уплотнение, контроль параметров и т.п.) возможность сборки, монтажа, удобство обслуживания при эксплуатации. Разработка технологии сборочных работ позволяет проанализировать качество проектирования отдельных деталей, узлов и всей машины в целом. Выявленные при этом недостатки должны быть устранены на стадии проектирования.

На производстве технология сборки разрабатывается при подготовке к выпуску новых изделий, а также при проведении ремонтных и иных эксплуатационных работ, связанных с частичной или полной разборкой машины. При выполнении выпускной работы бакалавра студент по заданию консультанта соответствующего раздела (или руководителя) разрабатывает технологию сборки одного из механизмов или узлов крана. Объектом разработки могут являться механизмы подъема, передвижения крана или тележки, поворота, изменения вылета, а также отдельные узлы, например, тележка крана с канатной тягой. Этот раздел работы приводится в пояснительной записке и включает в себя части: 1) подготовка исходных данных; 2) описание технологии сборки; 3) разработка технологической схемы сборки; 4) контроль качества выполнения

сборочных работ. Независимо от порядка выполнения работ по данному разделу в пояснительной записке данные части желательно приводить в указанном порядке.

4.2. Подготовка исходных данных

Исходными данными для разработки технологии сборки являются чертежи механизма или узла проектируемой машины, а также характеристика производства, на котором планируется изготовление машины. Тип производства (индивидуальное, мелкосерийное или массовое) и тип сборочного процесса (поточный, не поточный), а также метод выполнения сборочных работ и их последовательность определяются студентом самостоятельно или совместно с консультантом.

Перед началом разработки технологии сборки заданный механизм или узел разбивается на составляющие элементы. Разбиение осуществляется путем построения структурной схемы изделия (рис.4.1) с учетом технологических задач (сборка узла в том или ином подразделении производства). Сам механизм или узел, входящий непосредственно в изделие, называется группой, как например, «тележка» по отношению к «крану мостовому» (рис.4.1). Узел, входящий непосредственно в группу, – подгруппой 1-го порядка, например, «механизм подъема»; узел, входящий непосредственно в подгруппу 1-го порядка, – подгруппой 2-го порядка, например, «тормоз», и т.д. Каждая подгруппа может состоять либо из отдельных деталей, либо из подгрупп низших порядков и деталей. Подгруппа последнего порядка для данного изделия будет состоять только из отдельных деталей.

Рис.4.1. Структурная схема изделия

При создании конструкторской документации каждая подгруппа рассматривается как сборочная единица и на неё разрабатывается своя спецификация. При выполнении выпускной работы необходимо составить спецификацию на тот узел, который подвергается технологической проработке. Она выполняется по общим правилам ЕСКД и включается в пояснительную записку в качестве приложения.

При разбиении узла на подгруппы и детали производится индексация элементов, то есть присвоение им номеров в соответствии с конструкторской документацией – спецификацией. При этом узлы обозначают буквами «сб» (сборка) с присвоением каждому узлу номера базовой детали, входящей в него, который проставляется перед буквенным обозначением «сб». Например, группа с базовой деталью № 3 обозначается «3сб».

4.3.Описание технологии

На данном этапе работы выполняется описание технологии сборочных работ в последовательности, соответствующей технологической схеме, и с указанием присвоенных в процессе расчленения номеров деталей и узлов. При этом обязательно даются указания на имеющиеся особенности технологического процесса при сборке отдельных деталей и узлов. Например, для обеспечения некоторых посадок в соответствии с конструкторской документацией указывается технологическая операция сборки «напрессовать», для создания неразъемного сварного соединения – «приварить» и т.п. Информация о таких операциях может быть получена студентом из справочной литературы ([7], гл.3).

4.4. Построение технологических схем сборки

На основании структурной схемы изделия строятся технологические схемы последовательности сборочных процессов. Первым звеном схемы является *базовый элемент*, выбор которого зависит от конструкции узла, особенностей производства, массы собираемых элементов и т.д. *Базовым элементом* называется деталь или сборочная единица, с которой начинается сборка изделия или узла. *Базовой подгруппой* любого порядка называют основную подгруппу, с которой начинается сборка подгруппы высшего порядка. *Базовой группой* называют основную группу, с которой начинается сборка изделия. Например, на

структурной схеме тележки мостового крана (рис.4.1) базовой подгруппой является «рама тележки». На ней устанавливаются все механизмы и иные элементы.

При составлении технологических схем сборки на листе бумаги наносится вертикальная линия, символизирующая основное направление процесса сборки (сверху вниз). Сверху к этой линии примыкает своей большей стороной прямоугольник, обозначающий базовую деталь или базовую подгруппу. Внизу линия заканчивается также прямоугольником, обозначающим собранное изделие. Слева и справа от линии по направлению хода сборки в прямоугольных рамках указываются все детали и сборочные единицы, входящие непосредственно в собираемое изделие, за исключением базовой для данного изделия. Каждый прямоугольник (за исключением последнего, обозначающего собранное изделие) делится на три части (рис.4.2). В верхней большей части указывается наименование детали, в нижней левой – номер в соответствии с разбиением изделия, в правой – количество деталей. Для избежания излишней громоздкости технологических схем сложных изделий составляют укрупненные схемы, включающие группы и подгруппы высшего порядка. Затем для каждой группы или подгруппы формируется специальная схема сборки. Пример оформления технологической схемы сборки представлен на рис.4.3.

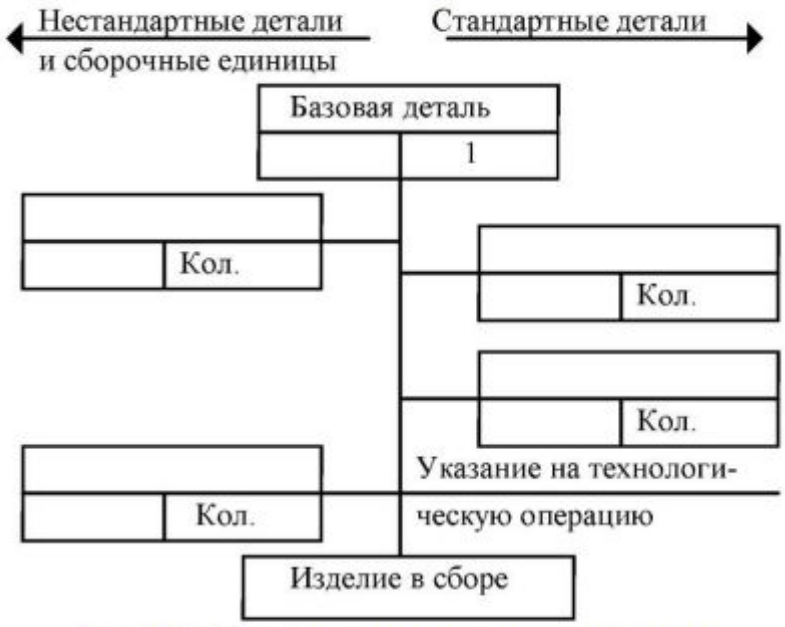


Рис.4.2. Общий вид технологической схемы сборки

4.5. Контроль качества выполнения сборочных работ

Сборка любого изделия должна выполняться таким образом, чтобы изделие соответствовало требованиям конструкторской документации и технических условий. С целью проверки качества сборки на последнем этапе технологической проработки изделия устанавливаются параметры изделия, которые

необходимо проконтролировать, и методы контроля. При необходимости должны быть представлены схема, приборы и приспособления контроля в соответствии с рекомендациями ([7], гл.3) или авторские.

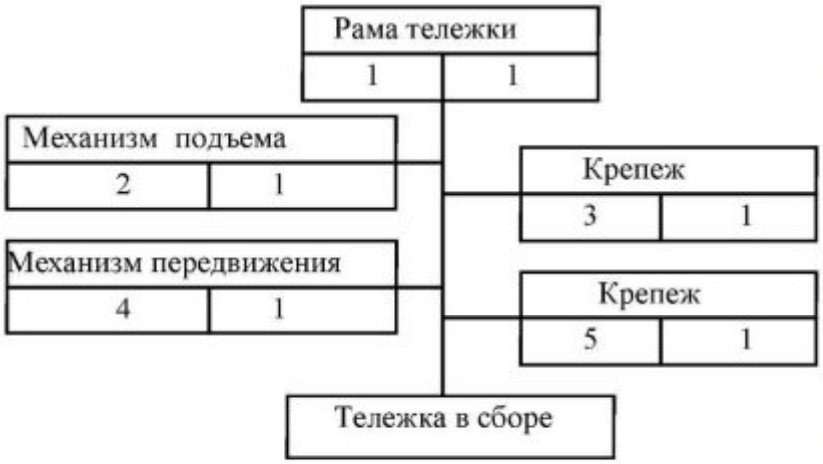


Рис.4.3. Технологическая схема сборки тележки

При контроле качества выполнения сборочных работ в первую очередь визуально проверяется наличие всех деталей в соответствии с чертежами, правильность их установки (место, ориентация и т.д.). Затем контролируются размеры, обеспечиваемые при сборке. Далее проверяется выполнение специальных технических требований. Примеры контроля качества сборки типовых узлов подъемно-транспортных машин приведены в литературе ([7], гл.3). Последним этапом контроля является проверка общей работоспособности изделия - возможность вращения, поступательного движения, уровень шума и т.д.

Приложение

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ РАБОТЫ

Обозначения документов

Все входящие в выпускную работу документы должны иметь свое обозначение (например, ПТСМ. ВР 99 АБ.001, ПТСМ. ВР 99 АБ.000 ПЗ). Оно строится из тринадцати знаков в соответствии с рис.П.1. Отдельные разделы обозначения отделяются друг от друга точкой. В конце обозначения пояснительной записки ставятся две прописные буквы - ПЗ.

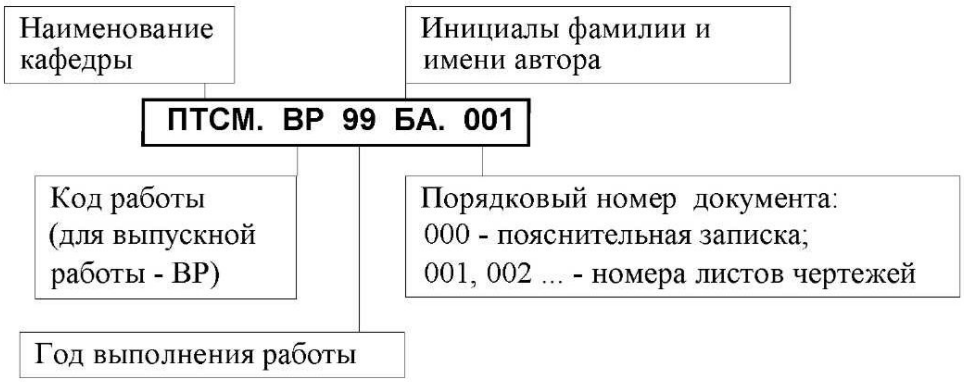


Рис.П.1. Схема расшифровки обозначений документов выпускной работы

Оформление спецификации

Выпускная работа должна сопровождаться *Спецификацией работы*, в которой перечислены все входящие в неё материалы с соответствующими обозначениями и наименованиями. Пример оформления спецификации работы приведён в табл.П.1. Спецификация работы при оформлении выпускной работы подшивается в записку сразу же за титульным листом. Она является самостоятельным документом и не учитывается при нумерации страниц.

Таблица П1

Формат	Зона	Поз.	ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ	Кол.	Приме-чание
				Документация		
А4			ПТСМ.ВР99БА.000ПЗ	Пояснительная записка	1	115 с.
А4			ПТСМ.ВР99БА.100	Технология сборки. Специ-		
				фикация	1	1 с.
А1			ПТСМ.ВР99БА.001	Тележка	1	
А1			ПТСМ.ВР99БА.002	Механизм передвижения		
				крана	1	
А3			ПТСМ.ВР99БА.003	Вал ходового колеса	1	
А3			ПТСМ.ВР99БА.004	Колесо ходовое	1	
А2			ПТСМ.ВР99БА.005	Тормоз механизма		
				подъема	1	
А2			ПТСМ.ВР99БА.006	Опора козлового крана	1	
А1			ПТСМ.ВР99БА.007	Пролетное строение		
				козлового крана	1	
А1			ПТСМ.ВР99БА.008	Общий вид	1	

Из.	Лист	№ докум.	Подп.	дата	ПТСМ.ВР99БА.000			
Разраб.		Соколов		06.99	Кран козловой грузоподъемностью Q=37т. Спецификация работы	Лит	Лист	Листов
Пров.		Орлов		06.99		У		1
Н.контр.		Бурлуцкий		06.99			гр.4045/1	
Утв.		Башкарев		06.99				

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович И.И., Березин В.Н., Яуре А.Г. Грузоподъемные краны промышленных предприятий. Справочник., М.:Машиностроение,1989. 360с.

2. Абрамович И.И., Котельников Г.А. Козловые краны общего назначения. М.: Машиностроение,1983. 232с.

3. Акулов А.П., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.:Машиностроение,1977. 432с.

4. Вершинский А.В., Гохберг М.М., Семенов В.П. Строительная механика и металлические конструкции/ Под общ.ред.М.М.Гохберга. Л.:Машиностроение,1984.231с.

5. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Л.:Машиностроение,1976. 455с.

6. Грузоподъемные машины / М.П.Александров, Л.Н.Колобов, Н.А.Лобов и др. М.: Машиностроение, 1986. 400 с.

7. Косилова А.Г., Сухов М.Ф. Технология производства подъемно-транспортных машин. М.:Машиностроение,1982. 301с.

8. Методические указания по выпускной работе бакалавра по направлениям 551800 - Технологические машины и оборудование, 552900 - Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных процессов. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1996. 27с.

9. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. М.: Изд-во ОБТ, 1993. 240с.

10. Соколов С.А., Карзов Г.П. Прочность и долговечность металлических конструкций ПТМ: Учеб. пособие. Л.: Изд-во СПбГТУ, 1989. 88с.

11. Справочник по кранам. В 2 т.: Т.1/ В.И.Брауде, М.М.Гохберг, И.Е.Звягин и др. / Под общ. ред. М.М.Гохберга. Л.: Машиностроение, 1988. 536с.

12. Справочник по кранам. В 2 т.: Т.2/ М.П.Александров, М.М.Гохберг, А.А.Ковин и др. / Под общ. ред. М.М.Гохберга. Л.: Машиностроение, 1988. 559с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1. СТРУКТУРА ВЫПУСКНОЙ РАБОТЫ 5
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ 6
2.1. Компоновка механизмов 6
2.2. Последовательность расчета на стадии компоновки 7
2.3. Особенности проектирования механизмов кранов различных типов 11
2.3.1. Краны мостового типа 11
2.3.2. Краны стрелового типа 15
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ 18
3.1. Общие требования и последовательность проектирования 18
3.2. Рекомендации по проектированию конструкции 19
3.2.1. Статическая схема и тип конструкции 19
3.2.2. Таблица нагрузок 19
3.2.3. Выбор геометрических параметров статической схемы 21
3.2.4. Выбор материала 21
3.2.5. Компоновка основных сечений 22
3.2.6. Проверка статической жесткости металлической конструкции 23
3.2.7. Обеспечение общей устойчивости изгибаемых балок 24
3.2.8. Обеспечение местной устойчивости элементов балок 24
3.2.9. Общая компоновка конструкции 25
3.2.10. Расчет на сопротивление усталости 26
3.2.11. Проверка ездовых балок на прочность и сопротивление усталости в зоне местного давления колес тележки 27
3.2.12. Проектирование узлов ферм 29
3.2.13. Проектирование шарнирных узлов 30
3.2.14. Размещение и проектирование монтажных стыков 31
3.2.15. Устройство галерей, площадок, лестниц и кабин 32
3.3. Технические требования 33
к металлическим конструкциям кранов 33
3.4. Особенности проектирования металлических конструкций 35
кранов различных типов 35
3.4.1. Краны мостового типа 35
3.4.2. Стреловые краны 38
4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРОЧНЫХ РАБОТ 40
4.1. Общие положения 40
4.3.Описание технологии 42
4.4. Построение технологических схем сборки 42
4.5. Контроль качества выполнения сборочных работ 43
Приложение. Правила оформление выпускной работы 45
Список литературы 47