

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ КРАНЫ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности
1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные,
дорожные машины и оборудование»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 621.87
ББК 39.9
С68

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой ТТМ «2» апреля 2020 г., протокол № 9

Составитель канд. техн. наук, доц. В. И. Матвеевко

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Е. Науменко

Методические рекомендации предназначены к практическим занятиям для студентов специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».

Учебно-методическое издание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ КРАНЫ

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

Введение	4
1 Планово-высотная съемка кранового пути	5
2 Измерение неперпендикулярности оси стрелы к оси ее шарнира.....	8
3 Устройство и принцип работы телескопической стрелы.....	11
4 Определение параметров маневренности автомобильного крана	14
5 Определение опорных нагрузок на выносные опоры стрелового самоходного крана.....	17
6 Определение необходимых размеров опорного контура стрелового самоходного крана	20
7 Прочностной расчет телескопической стрелы с жесткой подвеской.....	24
8 Расчет несущей способности телескопической стрелы с жесткой и гибкой подвеской	29
9 Основы расчета опорно-поворотных устройств стреловых кранов	35
10 Расчет минимального радиуса закругления рельсового пути башенного крана	39
11 Определение фактической высоты подъема груза с учетом его габаритных размеров	41
12 Определение массы противовеса башенного крана и места его расположения	46
Список литературы	48

Введение

Рабочей программой по изучению дисциплины «Строительные и специальные краны» предусмотрено 50 часов лекций и 32 часа практических занятий. Данная дисциплина базируется, в основном, на ранее изученной дисциплине «Подъемно-транспортные машины».

Строительные и специальные краны, в отличие от грузоподъемных кранов общего назначения, спроектированы и изготовлены с учетом специфических особенностей при их использовании, а именно: недопущению ручного выполнения операций по строповке, успокаиванию и ориентированию груза, выполнение строительно-монтажных работ, технологических подъемно-транспортных операций на отдельных производствах промышленных предприятий, особенно на заводах черной металлургии. Вопросы, связанные с их рациональным применением, дальнейшим развитием и совершенствованием актуальны и требуют подготовки специалистов соответствующей квалификации.

Настоящие методические рекомендации к практическим занятиям и их тематика будут способствовать приобретению студентами теоретических знаний и практических навыков по устройству, конструктивному исполнению строительных и специальных кранов, их отдельных узлов и механизмов, особенностям их расчетов.

1 Плано-высотная съемка кранового пути

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по конструкции крановых путей, норм их проектирования и содержания; приобретение практических навыков по измерению отклонений крановых рельсов в плане и разработке рекомендаций по их выправке.

Приборы и измерительный инструмент: теодолит, геодезическая тренога, геодезическая линейка, рулетка, макет кранового пути, струна.

Крановые пути проектируются в соответствии с [1, 2], СНиП 11-23–81 и СНиП 3.08.01–85. Кран и крановый путь образуют единую сложную систему. Нагруженность и долговечность элементов этой системы (рельсов, ходовых колес и их подшипниковых узлов) в значительной степени зависят от точности укладки рельсовых путей как в плане, так и по высоте. Для крановых путей применяют железнодорожные рельсы (Р38, Р43, Р50, Р65) и крановые рельсы (КР70, КР80, КР120, КР140). В отдельных случаях применяют рельсы прямоугольного сечения.

В соответствии с [1, 2] предельная величина отклонения рельсов от проектного положения в плане, т. е. сужение или уширение $\pm\Delta$ колеи составляет: для мостовых, козловых и порталных кранов ± 15 мм; для башенных кранов ± 10 мм; для мостовых перегружателей ± 20 мм.

Обычно расстояние между осями подкрановых рельсов контролируют прямым измерением стальной рулеткой с постоянным усилием натяжения, равным 120 Н, применяя динамометр. Однако применение рулетки не обеспечивает требуемой точности измерения, особенно при значительных пролетах 22,5...31,5 м и более. В этих целях наиболее удобно использовать лазерный дальномер, обеспечивающий измерение до 50 м с точностью ± 1 мм.

Однако применение рулетки или лазерного дальномера практически неприемлемо для контроля крановых путей козловых кранов, у которых площадка между рельсами занята хранимым грузом (лесоматериалы, металл, железобетонные конструкции и т. п.) с высотой штабелей до 2,5 м и более. Измерение расстояния между осями крановых рельсов и отклонения рельсов от проектного положения рекомендуется производить с помощью теодолита на основании схемы, представленной на рисунке 1.1.

В соответствии с указанной схемой производится продольная разбивка кранового пути с порядковой нумерацией мелом на подошве или шейке обоих рельсов. Шаг разбивки для наземных рельсовых путей (козловые, башенные краны) принимается 5 м, для рельсов на крановых эстакадах (мостовые краны) 3 или 6 м, в зависимости от шага колонн 6 или 12 м соответственно. Составляется схема измерений в соответствии с рисунком 1.1. В начале и конце кранового пути груз отсутствует, и выполнение этих измерений не представляет каких-либо затруднений. Стальной рулеткой или лазерным дальномером измеряется расстояние между осями крановых рельсов в начале (сечение 1) и в конце

(сечение n) кранового пути, L_1 и L_n соответственно. На первой установке теодолита на расстоянии 200...300 мм от рельса A его коллимационная плоскость (заменяющая натянутую струну) ориентируется вдоль продольной оси рельса A , измеряются промежуточные расстояния $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ в соответствии с рисунками 1.1 и 1.2. При этом геодезическую линейку необходимо устанавливать горизонтально и перпендикулярно оси рельса. Вторая установка теодолита (см. рисунок 1.2) производится аналогично на расстоянии 200...300 мм от рельса B и его коллимационная плоскость ориентируется вдоль продольной оси рельса и измеряются промежуточные расстояния $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$. После снятия вышеуказанных расстояний простыми арифметическими вычислениями определяются расстояния между осями крановых рельсов.

Рекомендуемая форма плановой съемки кранового пути с указанием выше приведенных измерений представлена на рисунке 1.3.

На основании анализа результатов измерений и вычислений разрабатывают план производства работ по выправке крановых рельсов в соответствии с таблицей 1.1. Высотную съемку крановых рельсов (нивелировку) делают с помощью оптического или лазерного нивелира.

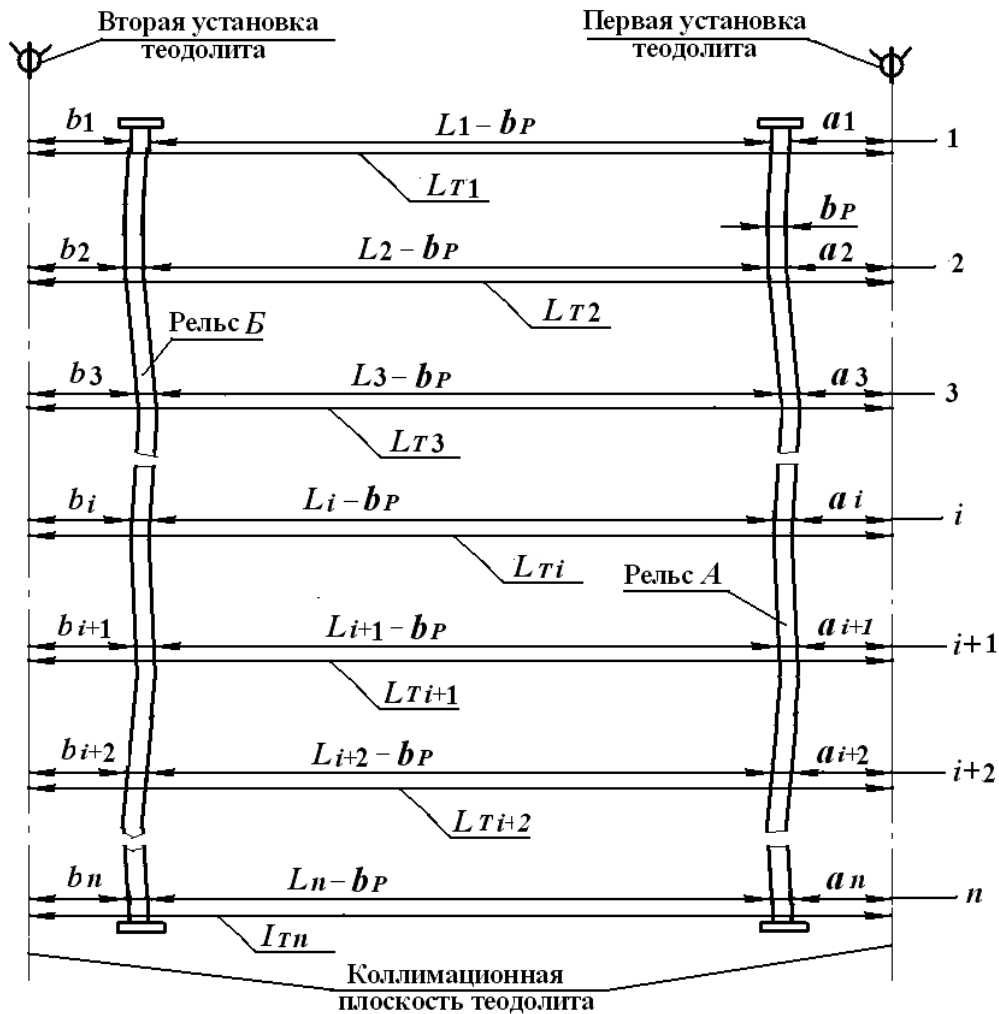


Рисунок 1.1 – Схема измерения отклонений рельсов от проектного положения в плане

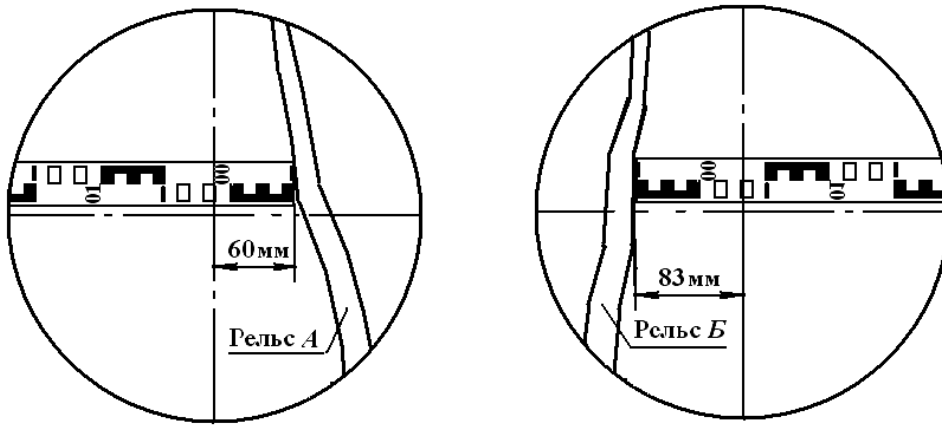


Рисунок 1.2 – Снятие размеров a_i и b_i с использованием теодолита

Номера точек отсчета	1	2	3	...	i	$i+1$	$i+2$...	n	
Расстояние от головки рельса до коллимационной плоскости теодолита	a_i	a_1	a_2	a_3	a_i	a_{i+1}	a_{i+2}		a_n	
	b_i	b_1	b_2	b_3	b_i	b_{i+1}	b_{i+2}		b_n	
Отклонение рельса А от проектного положения в плане	0	A_2	A_3		A_i	A_{i+1}	A_{i+2}		0	
Расстояние между осями крановых рельсов [L не $\pm \Delta$]	L_1	L_2	L_3		L_i	L_{i+1}	L_{i+2}		L_n	
Отклонение рельса В от проектного положения в плане	B_1	B_2	B_3		B_i	B_{i+1}	B_{i+2}		B_n	

Рисунок 1.3 – Рекомендуемая форма плановой съемки кранового пути

Таблица 1.1 – Пример плана производства работ по выправке крановых рельсов

Номер точки отсчета		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Необходимое смещение крановых рельсов	Рельс А	–	-20	–	+5	–	-18	–	-10	–	+10
	Рельс Б	–	–	+8	–	–	–	+12	–	–	–
<p>Примечание – + – смещение рельса в сторону увеличения колеи; – – смещение рельса в сторону сужения колеи</p>											

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с общим устройством теодолита и порядком работы с ним.
- 2 В соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.1, произвести косвенное измерение расстояния между осями рельсов с помощью натянутой струны и с помощью теодолита.
- 3 Сравнить полученные результаты и произвести их проверку непосредственным измерением расстояния между осями рельсов.

2 Измерение неперпендикулярности оси стрелы к оси ее шарнира

Цель работы: изучение способов, приобретение практических навыков работы с теодолитом и измерения неперпендикулярности оси стрелы к оси ее шарнира.

Приборы и измерительный инструмент: теодолит, геодезическая тренога, рулетка, макет крановой стрелы.

Одним из требований при изготовлении и эксплуатации стреловых грузоподъемных кранов являются контрольные измерения по определению неперпендикулярности ΔL оси стрелы к оси ее шарнира. Величина этого параметра при длине стрелы L составляет:

- для башенных кранов $\Delta L = \frac{L}{400}$;
- для стреловых кранов $\Delta L = \frac{L}{500}$.

Неперпендикулярность оси стрелы к оси ее шарнира измеряется с помощью теодолита в соответствии со схемой измерения, представленной на рисунке 2.1. Такой способ измерения трудоемок, т. к. требует демонтажа стрелы и применяется для контроля неперпендикулярности оси стрелы при изготовлении крана.

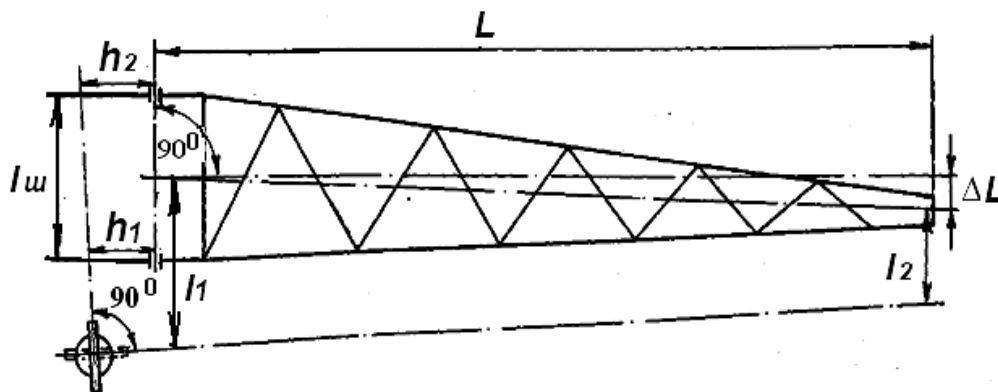


Рисунок 2.1 – Схема измерения параметра ΔL при изготовлении стрелы

При подъеме (опускании) стрелы, т. е. повороте ее вокруг оси шарнира, ось стрелы опишет какую-то поверхность. В случае, если ось стрелы перпендикулярна оси ее шарнира, то этой поверхностью будет плоскость, т. е. сектор. В случае, если ось стрелы не перпендикулярна оси ее шарнира, то этой поверхностью будет коническая поверхность. Расположим точку наблюдения по оси стрелы при ее опущенном положении и на каком-то удалении, т. е. на продолжении образующей конической поверхности. При последующем подъеме стрелы центр оголовка стрелы, через который проходит ось стрелы, опишем дугу эллипса по отношению к точке наблюдения (рисунок 2.2).

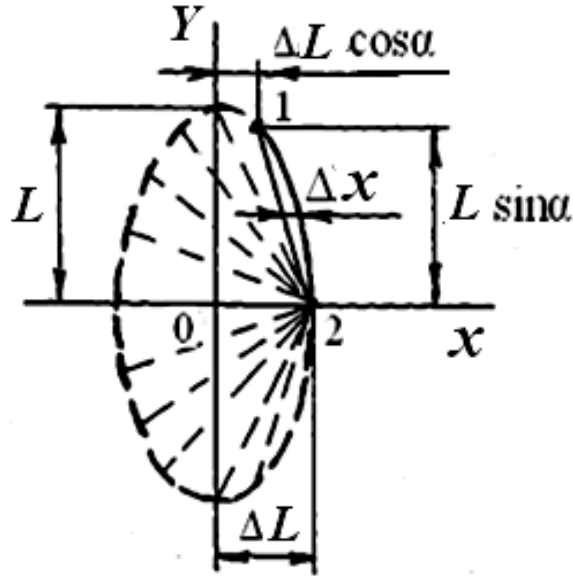


Рисунок 2.2 – Взаимное положение центра оголовка стрелы и оси стрелы по отношению к точке наблюдения

Малая полуось эллипса ΔL – искомая величина неперпендикулярности оси стрелы к оси ее шарнира. Большая полуось эллипса – $\sqrt{L^2 - \Delta L^2}$. Учитывая то, что предельная величина неперпендикулярности $\Delta L = \left(\frac{1}{400} \dots \frac{1}{500}\right)L$ можно с достаточной степенью точности принять, что $\sqrt{L^2 - \Delta L^2} \cong L$. Следует отметить, что ΔL в рассматриваемом случае есть не что иное, как высота конуса, поверхность которого копирует ось стрелы при ее повороте вокруг оси шарнира. Определив максимальное расстояние Δx_{\max} между дугой эллипса и проекцией оси стрелы в системе координат xOy получено соотношение

$$\Delta L = \Delta x_{\max} \cdot K,$$

где K – коэффициент, зависящий от угла изменения наклона стрелы при измерении (рисунок 2.3).

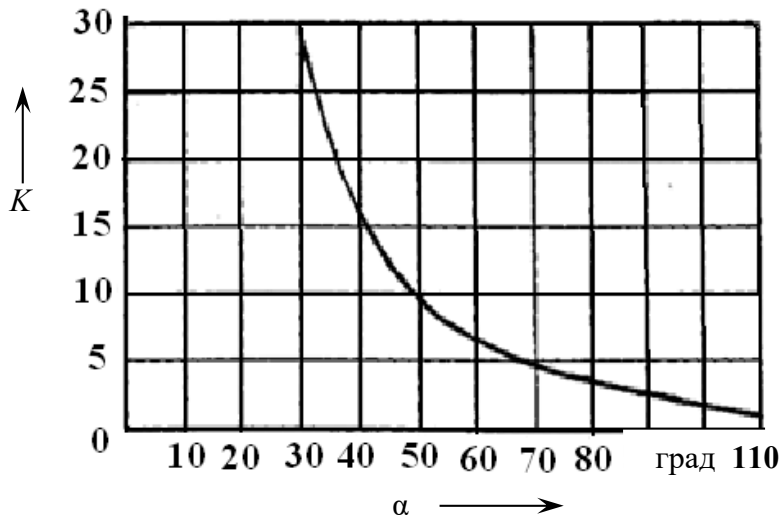


Рисунок 2.3 – Зависимость коэффициента K от угла подъема стрелы α от первоначального положения

Таким образом, неперпендикулярность оси стрелы к оси ее шарнира ΔL можно определить путем измерения наибольшего расстояния Δx_{\max} при подъеме стрелы на определенный угол α . Для повышения точности измерения подъем стрелы необходимо производить на возможно максимальный угол α .

Порядок выполнения работы

1 Установить теодолит на продолжении оси стрелы на расстоянии 5...6 м при ее опущенном положении и выставить его так, чтобы его коллимационная плоскость проходила через центр оголовка и центр основания стрелы, т. е. ось зрительной трубы по возможности ближе совпадала с осью стрелы.

2 Поднять стрелу на максимально возможную высоту и определить угол между начальным положением стрелы и поднятым.

3 Установочными винтами выставить теодолит так, чтобы вертикальная ось зрительной трубы при поднятой стреле проходила через центр оголовка стрелы и центр ее основания.

4 Опустить стрелу и, наблюдая в зрительную трубу с помощью укрепленной на оголовке линейки определить максимальное отклонение Δx_{\max} центра оголовка стрелы от коллимационной плоскости теодолита.

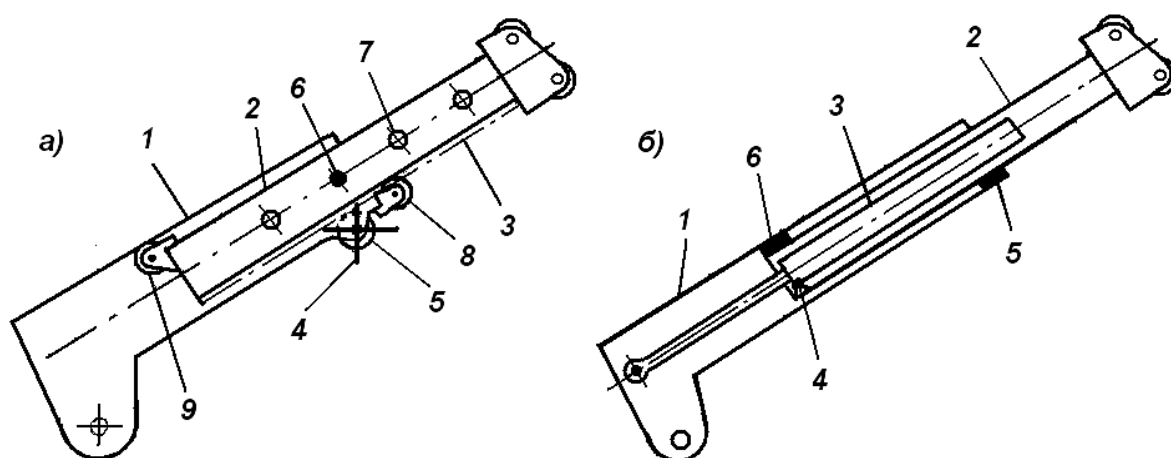
5 По рисунку 2.3 определить коэффициент K в зависимости от угла подъема стрелы α и определить неперпендикулярность оси стрелы к оси ее шарнира как $\Delta L = K \Delta x_{\max}$.

3 Устройство и принцип работы телескопической стрелы

Цель работы: изучение конструктивных исполнений и принципа работы телескопических стрел.

В целях увеличения высоты подъема груза и вылета с одновременным обеспечением высокой мобильности стреловых самоходных кранов, и в первую очередь автомобильных, широко используются телескопические стрелы различных конструкций и с разным числом выдвижных секций.

Первые образцы телескопических стрел (рисунок 3.1, а) состояли из коробчатого основания 1 прямоугольного поперечного сечения, внутри которого размещалась выдвижная секция 2 с прикрепленной в нижней части пластинчатой цепью, или зубчатой рейкой 3. Перемещение секции 2 осуществлялось вручную с помощью штурвала 4, на валу которого закреплена звездочка 5, входящая в зацепление с пластинчатой цепью или зубчатой рейкой 3. Фиксация выдвижной секции 2 по отношению к основанию 1 осуществляется пальцем 6, для чего одно из отверстий 7 в выдвижной секции необходимо совместить с опорным отверстием в верхней части основания стрелы. Нагрузка от выдвижной секции на основание стрелы передается через опорные ролики 8, закрепленные снизу в верхней части основания, и опорный каток 9, закрепленный в верхней задней части выдвижной секции.



а – с ручным выдвижением-задвижением; *б* – с выдвижением-задвижением гидроцилиндром

Рисунок 3.1 – Телескопическая стрела с одной выдвижной секцией

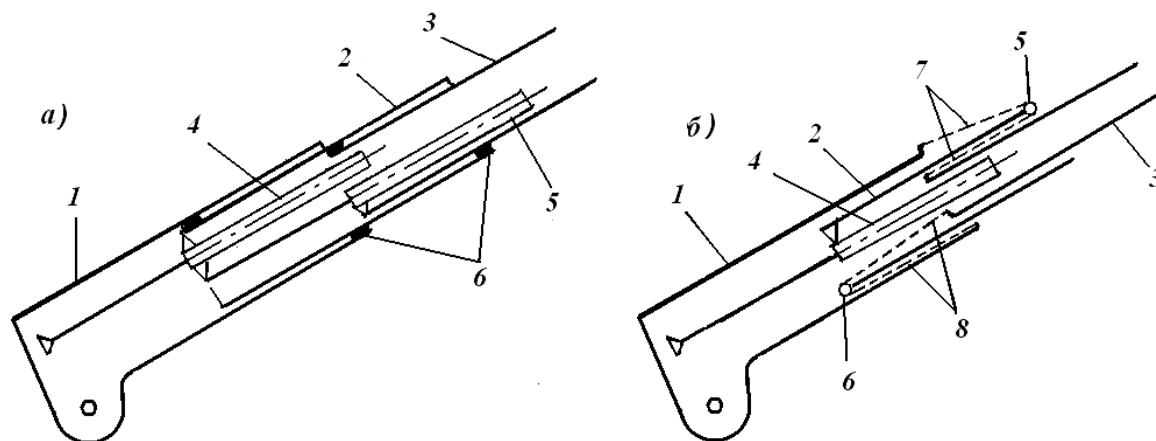
Такое конструктивное исполнение телескопической стрелы имеет существенный недостаток. Для изменения длины стрелы она опускается в положение, близкое к горизонтальному, после чего производится изменение ее длины. Это требует дополнительных простоев и значительных трудозатрат, особенно при частом изменении длины стрелы при работе крана. В целях

устранения этого недостатка для выдвигания и втягивания подвижной секции был использован гидроцилиндр с ходом штока 6 м (рисунок 3.1, б).

Особенностью такого исполнения телескопической стрелы является то, что шток гидроцилиндра 3 шарнирно крепится в основании неподвижной секции 1. Нижняя часть штоковой полости гидроцилиндра крепится в нижней части выдвигной секции 2 с помощью шарнира 4. Шток выполнен пустотелым, внутри которого размещены две трубки для подачи рабочей жидкости в штоковую (при втягивании подвижной секции) или в поршневую (при выдвигании подвижной секции) полости цилиндра. Кроме того, при выдвигании подвижной секции на сжатие работает только шток гидроцилиндра, что позволяет почти в 2 раза увеличить его устойчивость. Вместо опорного ролика и катка применены плиты скольжения 5 и 6, выполненные из бронзы БрАЖ 9-4 и обеспечивающие коэффициент трения 0,1. Это позволяет уменьшить поперечный габарит телескопической стрелы и ее габарит в транспортном положении. Применение гидроцилиндра обеспечивает возможность телескопирования, т. е. изменения длины стрелы с грузом, что существенно расширяет возможности крана, например, подача груза в оконные проемы, монтаж оборудования в крытых цехах.

Длина телескопической стрелы с одной выдвигной секцией составляет примерно от 10 до 16 м. Для увеличения вылета и высоты подъема в современных стреловых самоходных кранах, в том числе и автомобильных, применяют телескопические стрелы с двумя, тремя и более выдвигными секциями.

На рисунке 3.2, а представлена телескопическая стрела с двумя выдвигными секциями и двумя гидроцилиндрами.



а – с использованием двух гидроцилиндров; б – с использованием одного гидроцилиндра и скоростных полиспастов

Рисунок 3.2 – Телескопические стрелы с двумя выдвигными секциями

В транспортном положении первая 2 и вторая 3 подвижные секции располагаются внутри неподвижной секции 1. Выдвигание и втягивание подвижных секций осуществляются гидроцилиндрами 4 и 5. Причем шток гидроцилиндра 5

шарнирно крепится в нижней части гидроцилиндра 4, а нижняя часть гидроцилиндра 5 шарнирно крепится к нижней части подвижной секции 3. Опираие подвижных секций осуществляется посредством плит скольжения 6. Длина такой телескопической стрелы составляет примерно от 10 до 22 м. При включении гидроцилиндра 4 выдвигается или втягивается секция 2. Секция 3 неподвижна по отношению к секции 2. При включении гидроцилиндра 5 выдвигается или втягивается секция 3, секция 2 неподвижна по отношению к неподвижной секции 1. Таким образом, изменение длины стрелы осуществляется поочередным включением гидроцилиндров 4 и 5.

На рисунке 3.2, б представлена телескопическая стрела с двумя секциями и одним гидроцилиндром. Для упрощения рисунка плиты скольжения не показаны. Выдвижение и втягивание подвижной секции 2 осуществляется гидроцилиндром 4, подвижной секции 3 синхронно с секцией 2 канатами 7 и 8. Канат 7 выдвижения секции 3 огибает блок 5, установленный в верхней части секции 2. Концы каната 7 прикреплены к верхней части основания стрелы 1 и нижней части секции 3. Канат 8 втягивания секции 3 огибает блок 6, установленный в нижней части секции 2, а концы этого каната прикреплены к верхней части неподвижной секции 1 и нижней части подвижной секции 3. Такими стрелами оборудуются автомобильные краны КС-45729А Могилевского завода «Транс-маш». На автокранах КС-55727 устанавливается телескопическая стрела с тремя секциями, представленная на рисунке 3.3.

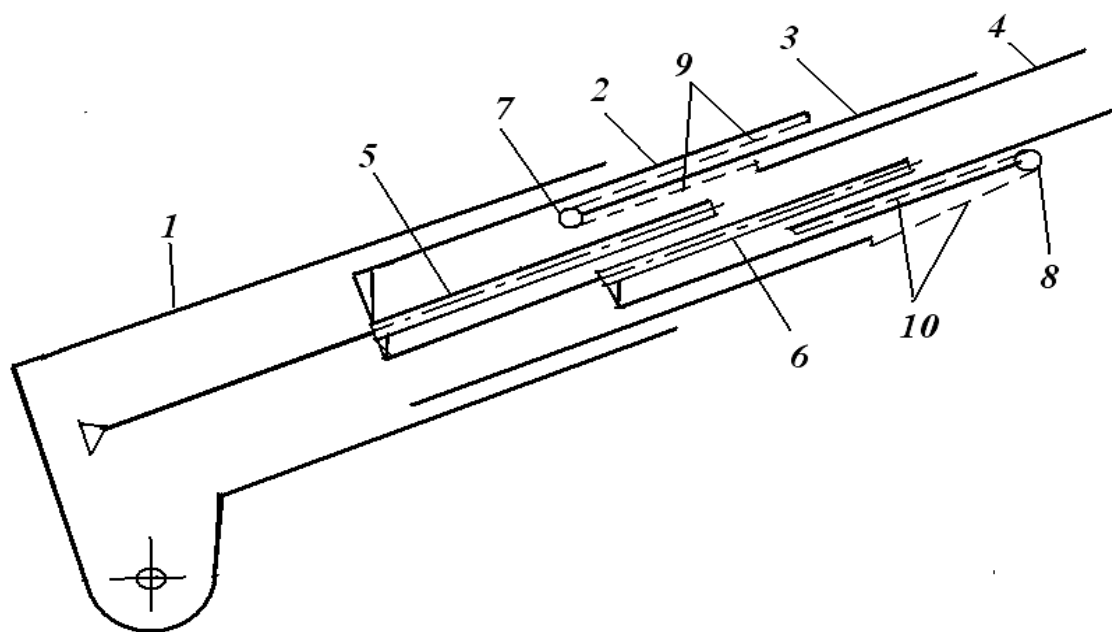


Рисунок 3.3 – Телескопическая стрела с тремя выдвижными секциями

Выдвижение и втягивание подвижных секций 2 и 3 осуществляются гидроцилиндрами 5 и 6. При включении гидроцилиндра 5 выдвигается секция 2. Секции 3 и 4 остаются неподвижными по отношению к секции 2. При включении гидроцилиндра 6 выдвигается секция 3 и посредством каната 10 секция 4. При этом секция 4 выдвигается по отношению к секции 3. Втягивание секции 4

осуществляется канатом 8 при включении гидроцилиндра 6 на втягивание секции 3. Длина такой стрелы составляет примерно от 10 до 28 м.

Так как выдвигание и втягивание секции 4 (см. рисунок 3.3) осуществляется канатами 9 и 10, то, расположив в этой секции дополнительную, аналогично можно осуществить с помощью канатных полиспастов ее выдвигание и втягивание. Таким образом, число выдвигаемых секций в мощных (г/п 2000 т) стреловых кранах на специальных шасси достигает 6...8 и более.

Порядок выполнения работы

1 Изучить конструктивные особенности телескопических стрел и их достоинства.

2 По заданному преподавателем числу выдвигаемых секций представить рисунок телескопической стрелы с одним гидроцилиндром и скоростными канатными полиспастами.

4 Определение параметров маневренности автомобильного крана

Цель занятия: определение минимальной ширины коридора для проезда автомобильного крана по прямой и с поворотом на 9 и 180°.

Основными достоинствами автомобильных кранов являются их высокая мобильность и автономность. Мобильность крана определяется не только скоростью его передвижения с объекта на объект, которая в соответствии с ГОСТ составляет не менее 80...90 % от технической скорости базового автомобиля, но и его маневренностью. Маневренность автомобильного крана определяется минимальной шириной коридора для проезда по прямой, для проезда с поворотом на 90°, для проезда с поворотом на 180°. Схемы для определения представлены на рисунках 4.1 и 4.2.

Минимальная ширина коридора для проезда по прямой (см. рисунок 4.1)

$$S_0 = B + \Delta, \quad (4.1)$$

где B – габарит базового автомобиля по ширине: для автокранов КС-3569, КС-45729, КС-55727 производства Могилевского завода «Трансмаш» $B = 2,5$ м;

Δ – дополнительная ширина коридора, учитывающая неточность маневрирования, $\Delta = 1,5...2,0$ м.

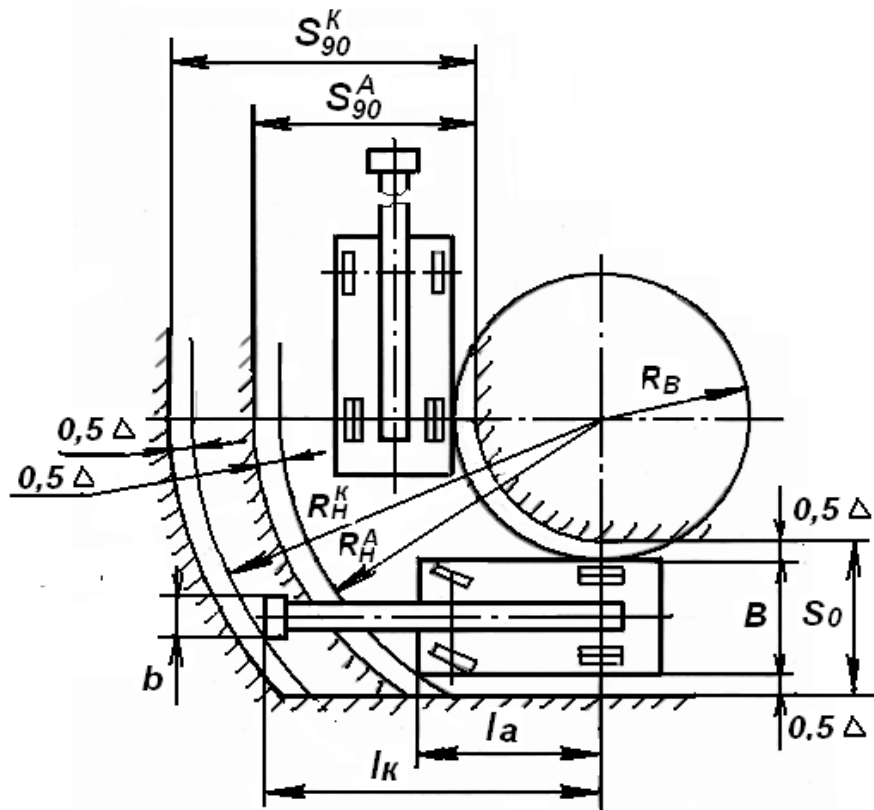


Рисунок 4.1 – Схема для определения минимальной ширины коридора для проезда с поворотом на 90°

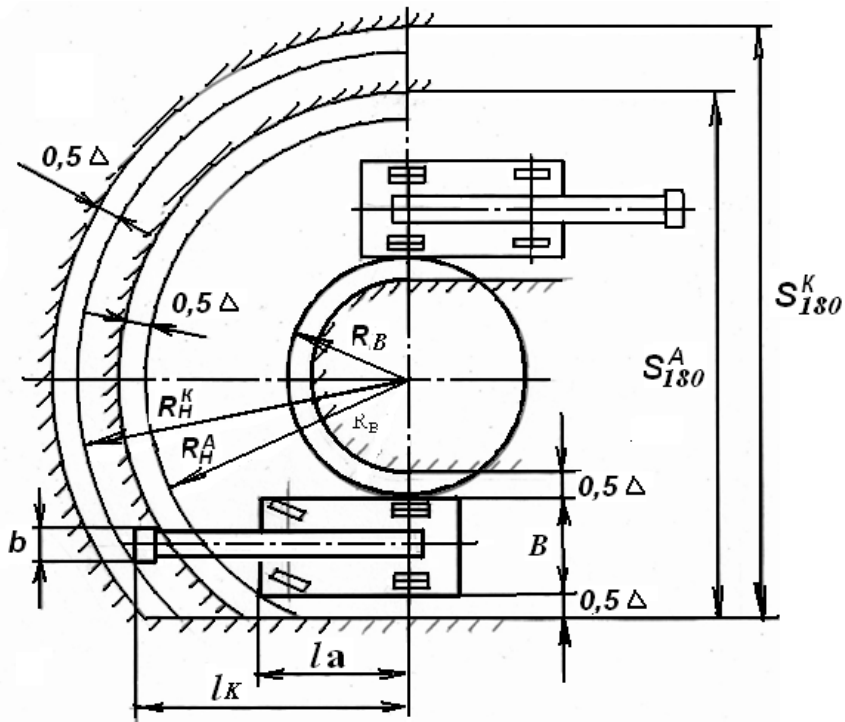


Рисунок 4.2 – Схема для определения минимальной ширины коридора для проезда с поворотом на 180°

Минимальная ширина коридора для проезда автомобиля S_{90}^A или крана S_{90}^K с поворотом на 90° в соответствии с рисунком 4.1 составляет

$$S_{90}^A = R_H^A - R_B + \Delta; \quad (4.2)$$

$$S_{90}^K = R_H^K - R_B + \Delta, \quad (4.3)$$

где R_B – внутренний радиус поворота автомобиля, т. е. расстояние от центра поворота, располагаемого на продолжении задней оси автомобиля, до наименее удаленной точки автомобиля при минимальном радиусе поворота;

R_H^A , R_H^K – наружные радиусы поворота автомобиля и крана, т. е. расстояние от центра поворота, располагаемого на продолжении задней оси автомобиля, до наиболее удаленной точки автомобиля или крана при минимальном радиусе поворота соответственно.

$$R_H^K = \sqrt{\left(R_B + \frac{B}{2} + \frac{b}{2}\right)^2 + l_k^2}; \quad (4.4)$$

$$R_H^A = \sqrt{(R_B + B)^2 + l_A^2}, \quad (4.5)$$

где b – габарит по ширине оголовка стрелы;

l_k – расстояние от передней части стрелы до оси задних колес;

l_A – расстояние от передней части автомобиля до оси задних колес.

Минимальная ширина коридора для проезда с поворотом на 180° в соответствии с рисунком 4.2 составляет

$$S_{180}^A = R_H^A + R_B + B + \Delta; \quad (4.6)$$

$$S_{180}^K = R_H^K + R_B + B + \Delta. \quad (4.7)$$

В автокранах на базе трехосных автомобилей (КС-55727) расстояния l_A и l_k определяются до оси балансира задней двухосной тележки.

Мобильность автокрана в определенной степени зависит и от его габарита по высоте в транспортном положении и нагрузки на ось. Так для автокранов Могилевского завода «Трансмаш» габарит по высоте составляет 3,8...3,9 м, что не превышает установленный Правилами дорожного движения. Максимальная нагрузка на ось для этих кранов составляет 9,9...11,5 т.

Порядок выполнения работы

1 Изучить методику определения минимальной ширины проезда.

2 По заданным преподавателем исходным данным определить минимальную ширину проезда.

5 Определение опорных нагрузок на выносные опоры стрелового самоходного крана

Цель занятия: изучение методики и приобретение практических навыков по определению нагрузок на выносные опоры автокрана.

У стреловых поворотных кранов опорные нагрузки на основании распределяются неравномерно. Они зависят не только от веса крана и груза, но и от положения поворотной части крана относительно неповоротной, а также от вылета стрелы. У автомобильных кранов нагрузки на опорную площадку передаются через выносные опоры. При работе автокрана нагрузка на каждую выносную опору не остается постоянной. Для расчета металлоконструкции неповоротной рамы, кронштейнов и гидроцилиндров выносных опор необходимо определить максимальные значения опорных нагрузок.

На рисунке 5.1 представлена расчетная схема для определения опорных нагрузок.

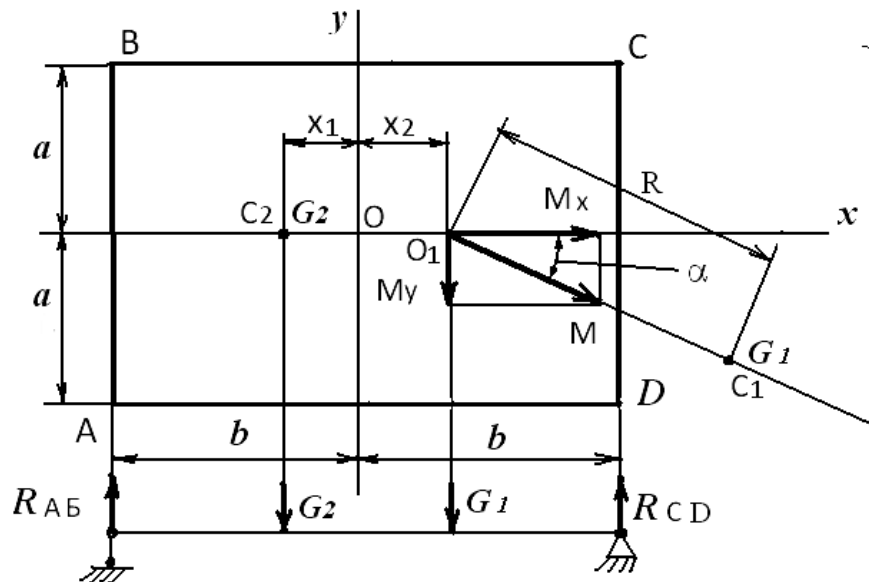


Рисунок 5.1 – Расчетная схема для определения опорных нагрузок

На этом рисунке: ось x – продольная ось крана; ось y – поперечная ось крана, проходящая через центр вращения поворотной части крана; точки A, B, C, D – опоры крана; C_1 – точка приложения равнодействующей силы тяжести поворотной части крана с учетом груза G_1 ; C_2 – точка приложения равнодействующей силы тяжести неповоротной части крана G_2 ; R – вылет; $2a$ и $2b$ – размеры опорного контура крана; точка O_1 – ось вращения поворотной части крана; x_1 , x_2 – координаты точек O_1 и C_2 ; прямая O_1-C_1 – ось стрелы; α – текущая координата.

С допустимой для инженерных расчетов точностью можно принять, что опорные нагрузки обратно пропорциональны отрезкам, на которые проекция точки приложения равнодействующей или плоскость действия момента делят

продольную и поперечную базу крана.

Воспользуемся методом теоретической механики о переносе точки приложения силы, т. е. перенесем силу G_1 с точки C_1 в точку O_1 и добавим момент $G_1 R$. С учетом равнодействующей ветровой нагрузки W , приложенной на высоте H , и при неблагоприятном сочетании этот момент составит

$$M = G_1 \cdot R + W \cdot H. \quad (5.1)$$

Для определения составляющих опорных нагрузок момент M разложим по осям координат X и Y .

$$M_X = M \cdot \cos \alpha; \quad M_Y = M \cdot \sin \alpha. \quad (5.2)$$

От действия момента M_X опорные нагрузки на опоры C и D возрастают, а на опоры A и B уменьшаются. Аналогично, от действия момента M_Y опорные нагрузки на опоры A и D возрастают, а на опоры B и C уменьшаются.

Тогда опорные нагрузки на опоры A , B , C и D от действия момента M составят:

$$R_A^M = \frac{M_Y}{4a} - \frac{M_X}{4b}; \quad R_B^M = -\frac{M_Y}{4a} - \frac{M_X}{4b}; \quad R_C^M = -\frac{M_Y}{4a} + \frac{M_X}{4b}; \quad R_D^M = \frac{M_Y}{4a} + \frac{M_X}{4b}. \quad (5.3)$$

Рассматривая неповоротную часть крана как балку, суммарные опорные реакции R_{AB} и R_{CD} от сил тяжести G_1 и G_2 (см. рисунок 5.1) определяются следующим образом:

$$R_{AB} = \frac{G_1(b-x_2) + G_2(b+x_1)}{2b} = \frac{G_1}{2} \left(1 - \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{2} \left(1 + \frac{x_1}{b}\right); \quad (5.4)$$

$$R_{CD} = \frac{G_1(b+x_2) + G_2(b-x_1)}{2b} = \frac{G_1}{2} \left(1 + \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{2} \left(1 - \frac{x_1}{b}\right). \quad (5.5)$$

Нагрузка на опоры

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} R_{AB} = \frac{G_1}{4} \left(1 - \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{4} \left(1 + \frac{x_1}{b}\right); \quad (5.6)$$

$$R_C = R_D = \frac{1}{2} R_{CD} = \frac{G_1}{4} \left(1 + \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{4} \left(1 - \frac{x_1}{b}\right). \quad (5.7)$$

Суммарные нагрузки на выносные опоры от действия сил тяжести G_1 , G_2 и момента M составляют

$$R_A = \frac{G_1}{4} \left(1 - \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{4} \left(1 + \frac{x_1}{b}\right) + \frac{M \sin \alpha}{4a} - \frac{M \cos \alpha}{4b}; \quad (5.8)$$

$$R_B = \frac{G_1}{4} \left(1 - \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{4} \left(1 + \frac{x_1}{b}\right) - \frac{M \sin \alpha}{4a} - \frac{M \cos \alpha}{4b}; \quad (5.9)$$

$$R_C = \frac{G_1}{4} \left(1 + \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{4} \left(1 - \frac{x_1}{b}\right) - \frac{M \sin \alpha}{4a} + \frac{M \cos \alpha}{4b}; \quad (5.10)$$

$$R_D = \frac{G_1}{4} \left(1 + \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{4} \left(1 - \frac{x_1}{b}\right) + \frac{M \sin \alpha}{4a} + \frac{M \cos \alpha}{4b}. \quad (5.11)$$

Анализируя формулы (5.8)–(5.11), можно сделать вывод, что нагрузки на выносные опоры от действия момента M изменяются при повороте поворотной платформы, а от действия сил тяжести G_1 и G_2 остаются постоянными. Очевидно, что нагрузка на опору будет максимальной, когда стрела будет расположена над этой опорой. При этом нагрузка на противоположную опору будет минимальной.

Определим, при каком значении угла α нагрузка на опору D от действия момента M будет максимальной. Для этого первую производную от R_D^M приравняем к нулю и разрешим относительно α .

$$R_D^{M1} = \frac{M \cos \alpha}{4a} + \frac{M \sin \alpha}{4b} = \frac{M}{4} \left(\frac{\cos \alpha}{a} - \frac{\sin \alpha}{b} \right) = 0. \quad (5.12)$$

Откуда

$$\frac{\cos \alpha}{a} - \frac{\sin \alpha}{b} = 0. \quad (5.13)$$

Разделив (5.13) на $\cos \alpha$, получим

$$\frac{1}{a} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{b} = 0, \quad (5.14)$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}. \quad (5.15)$$

Так как

$$\sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\pm \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{1}{\pm \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad (5.16)$$

окончательно получим

$$R_{D_{\max}}^M = \frac{M}{4a\sqrt{1+\frac{b^2}{a^2}}} + \frac{M\frac{b}{a}}{4b\sqrt{1+\frac{b^2}{a^2}}} = \frac{M}{4a} \cdot \frac{b+a}{\sqrt{a^2+b^2}}. \quad (5.17)$$

Максимальная нагрузка на опору D

$$R_{D_{\max}} = \frac{G_1}{4} \left(1 + \frac{x_2}{b}\right) + \frac{G_2}{4} \left(1 - \frac{x_1}{b}\right) + \frac{M}{4a \cdot b} \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (5.18)$$

Порядок выполнения работы

- 1 Изучить методику определения нагрузок на выносные опоры.
- 2 По заданным преподавателем исходным данным определить максимальную нагрузку на выносную опору.

6 Определение необходимых размеров опорного контура стрелового самоходного крана

Цель занятия: изучение методики и приобретение практических навыков по определению необходимых размеров опорного контура стреловых самоходных кранов по условию обеспечения нормируемого коэффициента запаса устойчивости.

Устойчивость автомобильного крана зависит от веса неповоротной части G_n , веса поворотной части с учетом веса груза G_n , координат центров тяжести этих составляющих и размеров опорного контура. Размеры опорного контура – это расстояние между осями гидроцилиндров выносных опор вдоль и поперек продольной оси крана. Для автокранов Могилевского завода «Трансмаш» размеры опорного контура составляют от $4,15 \times 5,0$ до $5,08 \times 5,4$ м.

Очевидно, что для обеспечения устойчивости автокрана точка приложения равнодействующей от сил тяжести G_n и G_n , т. е. общий центр тяжести располагался внутри опорного контура. При расположении этой равнодействующей или общего центра тяжести за пределами опорного контура кран опрокинется.

Необходимые размеры опорного контура можно определить на основании расчетной схемы, представленной на рисунке 6.1, где: ось X – продольная ось крана; ось Y – поперечная ось крана, проходящая через ось вращения O ; угол α – текущая координата; точка I – центр тяжести неповоротной части крана; точки 2,

$2^I, 2^{II}$ – центр тяжести поворотной части крана с учетом груза при вращении вокруг вертикальной оси. Расстояние от оси вращения O до точек $2 - R$.

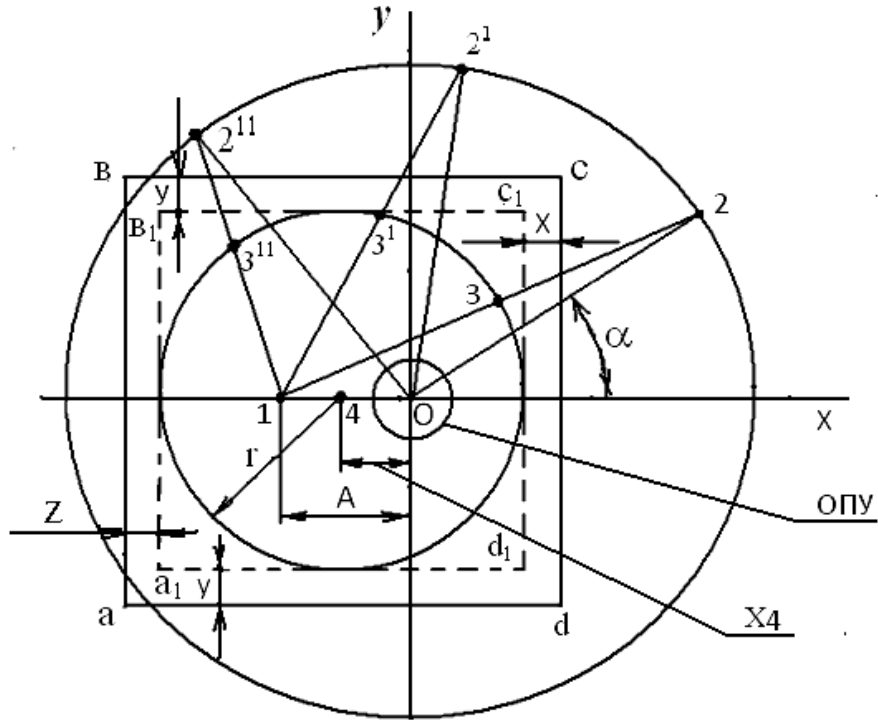


Рисунок 6.1 – Расчетная схема для определения необходимых размеров опорного контура

Координаты точек 1 и 2:

$$X_1 = -A; \quad Y_1 = 0; \quad X_2 = R \cdot \cos \alpha; \quad Y_2 = R \cdot \sin \alpha. \quad (6.1)$$

Определим текущие координаты общего центра тяжести всего крана с грузом. Очевидно, что этот центр тяжести при повороте поворотной части крана вокруг вертикальной оси O будет располагаться в точках $3, 3^I, 3^{II}$, расположенных на отрезках $1-2, 1-2^I, 1-2^{II}$ и делящих эти отрезки на части $1-3$ и $3-2, 1-3^I$ и $3^I-2^I, 1-3^{II}$ и $3^{II}-2^{II}$, обратно пропорциональные G_H и G_P , т. е.

$$\frac{X_3 - X_1}{X_2 - X_3} = \frac{G_P}{G_H}; \quad \frac{Y_3 - Y_1}{Y_2 - Y_3} = \frac{G_P}{G_H}. \quad (6.2)$$

Из формулы (6.2) определим координаты точки 3:

$$X_3 = \frac{G_H \cdot X_1 + G_P \cdot X_2}{G_H + G_P}; \quad Y_3 = \frac{G_H \cdot Y_1 + G_P \cdot Y_2}{G_H + G_P}. \quad (6.3)$$

Подставим в формулу (6.3) координаты точек 1 и 2, тогда формула (6.1) будет иметь следующий вид:

$$X_3 = \frac{-G_H A + G_p R \cos \alpha}{G_H + G_p} = \frac{G_p R \cos \alpha}{G_H + G_p} - \frac{G_H A}{G_H + G_p}; \quad Y_3 = \frac{G_p R \cos \alpha}{G_H + G_p}. \quad (6.4)$$

Выражения (6.4) являются уравнениями окружности в принятой системе координат XOY . Радиус этой окружности

$$r = \frac{G_p R}{G_H + G_p}, \quad (6.5)$$

и координаты центра этой окружности (точка 4):

$$X_4 = \frac{G_H A}{G_H + G_p}; \quad Y_4 = 0. \quad (6.6)$$

Так как стреловые самоходные краны, в том числе и автомобильные, оборудуются четырьмя выносными опорами, то вокруг полученной окружности (6.4) опишем квадрат, стороны которого параллельны и перпендикулярны продольной оси крана. На рисунке 6.1 этот квадрат a_1, b_1, c_1, d_1 изображен штриховыми линиями.

Если принять этот квадрат за опорный контур крана, то в точках касания его сторон с окружностью кран будет находиться в неопределенном состоянии. Следовательно опорный контур с каждой стороны квадрата a_1, b_1, c_1, d_1 необходимо увеличить в соответствии с рисунком 6,1 на расстояние x, y, z , определяемые из условия обеспечения нормируемого коэффициента запаса устойчивости без учета сил инерции, ветра и уклона площадки:

$$k = \frac{M_y}{M_O} \geq 1,4, \quad (6.7)$$

где M_y – удерживающий момент, создаваемый силой тяжести неповоротной части крана G_H относительно ребра опрокидывания;

M_O – опрокидывающий момент, создаваемый силой тяжести поворотной части крана с учетом груза G_p относительно ребра опрокидывания.

Из условия обеспечения устойчивости крана относительно ребра опрокидывания $c_1 d_1$

$$k_{c_1 d_1} = \frac{G_H (A - x_4 + r + x)}{G_p (R - r + x_4 - x)} \geq 1,4, \quad (6.8)$$

откуда

$$x \geq \frac{1,4G_p(R-r+x_4) - G_H(A-x_4+r)}{1,4G_p + G_H}. \quad (6.9)$$

Из условия обеспечения устойчивости крана относительно ребра опрокидывания $a_1 b_1$

$$k_{a_1 b_1} = \frac{G_H(r+x_4-A+z)}{G_p(R-r-x_4-z)} \geq 1,4, \quad (6.10)$$

откуда

$$z \geq \frac{1,4G_p(R-r-x_4) - G_H(r-A+x_4)}{1,4G_p + G_H}. \quad (6.11)$$

Из условия обеспечения устойчивости крана относительно ребер опрокидывания $b_1 c_1$ и $a_1 d_1$

$$k_{b_1 c_1 (a_1 d_1)} = \frac{G_H(r+y)}{G_p(R-r-y)} \geq 1,4, \quad (6.12)$$

откуда

$$y \geq \frac{1,4G_p(R-r_4) - G_H \cdot r}{1,4G_p + G_H}. \quad (6.13)$$

Порядок выполнения работы

1 Изучить методику определения необходимых размеров опорного контура крана.

2 По исходным данным, заданным преподавателем, определить необходимые размеры опорного контура и его расположение по отношению к продольной и поперечной осям крана, проходящим через центр вращения.

7 Прочностной расчет телескопической стрелы с жесткой подвеской

Цель занятия: приобретение теоретических и практических навыков прочностного расчета телескопической стрелы автомобильного крана.

Секции телескопической стрелы работают на изгиб, сжатие и кручение от действия силы тяжести груза, собственной силы тяжести, сил инерции при работе механизма вращения и раскачивания груза с отклонением от вертикали на угол β до 8° .

Схема для определения нагрузок, действующих на последнюю секцию телескопической стрелы, представлена на рисунке 7.1.

Наибольший изгибающий момент в вертикальной плоскости

$$M_y^{\max} = \left(G_q \cdot l_p + \frac{q \cdot l_p^2}{2} \right) \cos \gamma, \quad (7.1)$$

где G_q – сила тяжести груза с учетом крюковой подвески и оголовка стрелы;
 q – равномерно распределенная нагрузка от собственной силы тяжести выдвинутой секции;

l_p – рабочая длина выдвинутой секции;

γ – угол наклона оси стрелы к горизонтали.

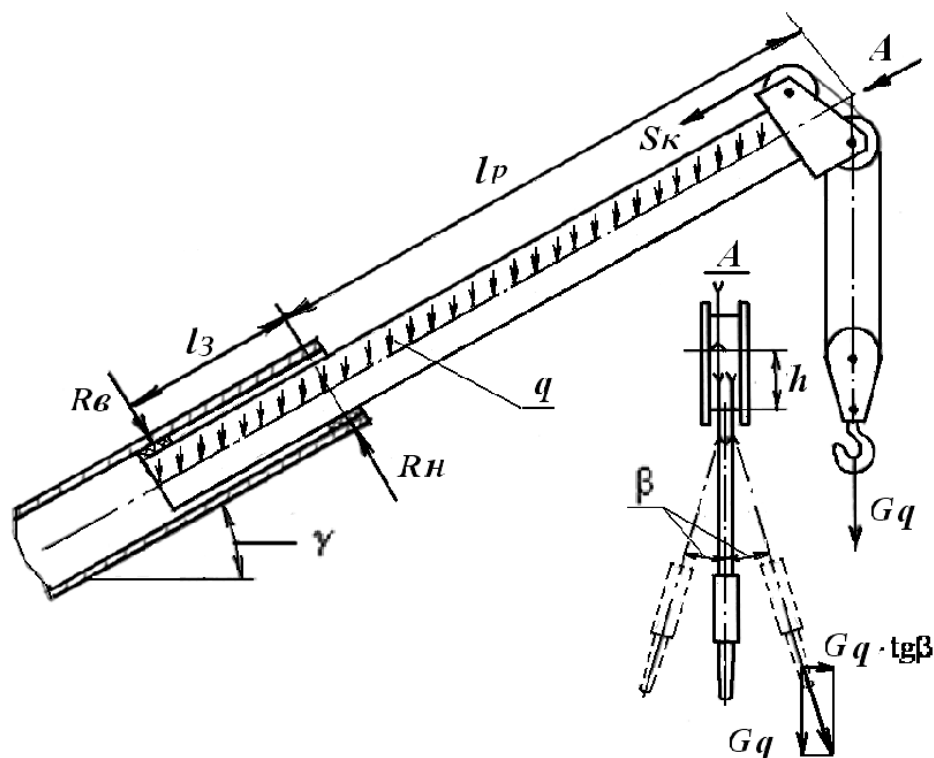


Рисунок 7.1 – Расчетная схема последней выдвинутой секции

Изгибающий момент в горизонтальной плоскости

$$M_x^{\max} = G_q \cdot l_p \cdot \operatorname{tg}\beta, \quad (7.2)$$

где β – угол отклонения груза от вертикали при повороте крана (см. рисунок 7.1).

Крутящий момент

$$M_{KP} = G_q \cdot h \cdot \operatorname{tg}\beta, \quad (7.3)$$

где h – высота оголовка стрелы (см. рисунок 7.1).

Сжимающая нагрузка

$$N_c = (G_q + q \cdot l_p) \sin \gamma + S_K, \quad (7.4)$$

где S_K – натяжение ветви грузового каната, наматываемого на барабан.

Напряжения от вышеуказанных нагрузок:

$$\sigma_{iy} = \frac{M_y^{\max}}{W_y}; \quad \sigma_{ix} = \frac{M_x^{\max}}{W_x}; \quad \sigma_N = \frac{N}{F}; \quad \tau = \frac{M_{KP}}{W_P}. \quad (7.5)$$

Суммарное эквивалентное напряжение

$$\sigma_E = \sqrt{(\sigma_{iy} + \sigma_{ix})^2 + \sigma_N^2 + 3\tau^2}. \quad (7.6)$$

Опорные реакции в верхней R_B и нижней R_H плитах скольжения:

$$R_B = \frac{M_y^{\max} - 0,5q \cdot l_3^2 \cos \gamma}{l_3}; \quad R_H = \frac{[0,5q(l_p + l_3)^2 + G_q(l_p + l_3)] \cos \gamma}{l_3}. \quad (7.7)$$

На рисунке 7.2 представлена расчетная схема для определения нагрузок, действующих на предпоследнюю выдвижную секцию стрелы.

Изгибающий момент в вертикальной плоскости

$$M_y^{\max} = \left[G_q \cdot 2 \cdot l_p + (l_p + l_3)q(1,5 \cdot l_p - 0,5 \cdot l_3) + 0,5 \cdot q_n \cdot l_p^2 \right] \cos \gamma. \quad (7.8)$$

Изгибающий момент в горизонтальной плоскости

$$M_x^{\max} = G_q \cdot 2 \cdot l_p \cdot \operatorname{tg}\beta. \quad (7.9)$$

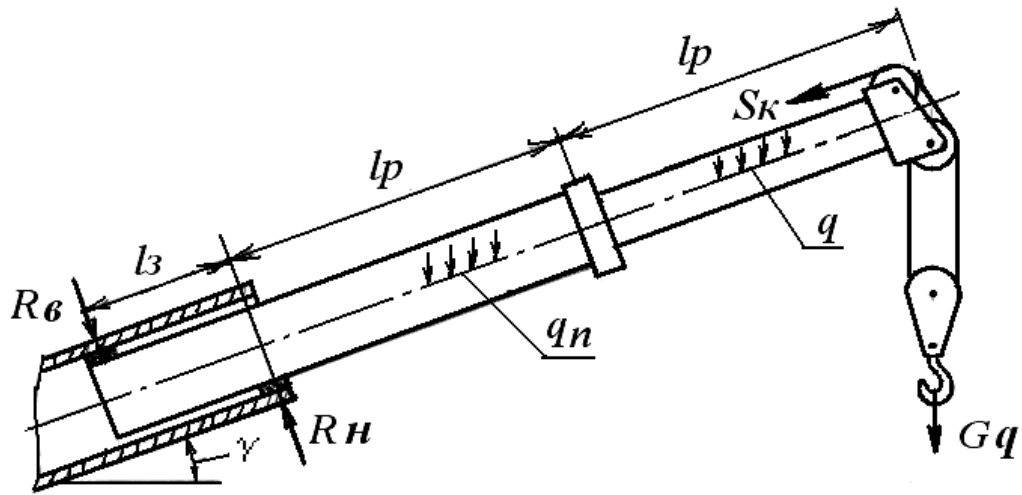


Рисунок 7.2 – Расчетная схема предпоследней выдвижной секции

Крутящий момент

$$M_{KP} = G_q \cdot h \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (7.10)$$

Сжимающая нагрузка

$$N_N = (G_q + q(l_p + l_3) + q_n \cdot l_p) \sin \gamma + S_K. \quad (7.11)$$

Суммарное эквивалентное напряжение определяется аналогично, как и для последней секции.

Опорные реакции в верхней R_B и нижней R_H плитах скольжения:

$$R_B = \frac{M_y^{\max} - 0,5q_n \cdot l_3^2 \cos \gamma}{l_3}; \quad (7.12)$$

$$R_H = \frac{[G_q(2l_p + l_3) + q(l_p + l_3)0,5(3l_p + l_3) + q_n 0,5(l_p + l_3)^2] \cos \gamma}{l_3}. \quad (7.13)$$

Схема для определения нагрузок, действующих на основные стрелы, гидроцилиндр и шарнир крепления стрелы, представлена на рисунке 7.3.

Конструктивными параметрами, которые при подъеме и опускании стрелы не изменяются, являются: AB ; AC ; n ; m ; K ; $\angle \varepsilon$: $\angle \alpha = \operatorname{arctg} \frac{n-m}{K}$.

Изменяющиеся параметры при подъеме и опускании стрелы – BC ; $\angle \varphi$; $\angle \psi$; $\angle \beta$; $\angle \gamma$; $\angle \omega$, h ; $l_{ог}$.

За независимую переменную примем угол γ – угол наклона оси стрелы к горизонтали. Все остальные изменяющиеся параметры выразим через неза-

$$l_o = K + \frac{m}{\operatorname{tg}\omega}.$$

Угол наклона оси гидроцилиндра к вертикали

$$\theta = \gamma + \alpha + \beta - 90^\circ. \quad (7.18)$$

Максимальные изгибающие моменты, действующие на основание телескопической стрелы:

– в вертикальной плоскости

$$\begin{aligned} M_y^{\max} = & [G_q(2l_p + l_{oc} - l_{oc}^1) + (l_p + l_3)q(1,5l_p + l_{oc} - l_{oc}^1 - 0,5l_3) + \\ & + q_n 0,5(l_p + l_3)(0,5l_p + l_{oc} - l_{oc}^1 - 0,5l_3) + q_{oc} \cdot 0,5(l_{oc} + l_{oc}^1)^2] \cos \gamma; \end{aligned} \quad (7.19)$$

– в горизонтальной плоскости

$$M_x^{\max} = G_q(2l_p + l_{oc} - l_{oc}^1) \operatorname{tg}\beta. \quad (7.20)$$

Сжимающая нагрузка

$$N_N = [G_q + (q + q_n)(l_p + l_3) + q_{oc}(l_{oc} - l_{oc}^1)] \sin \gamma + S_K. \quad (7.21)$$

Усилие на штоке гидроцилиндра

$$\begin{aligned} P = \frac{\sum M_A}{h} = \frac{1}{h} [& G_q(2l_p + l_3) + q(l_p + l_3)(1,5l_p - 0,5l_3 + l_{oc}) + \\ & + q_n(l_p + l_3)(0,5l_p - 0,5l_3 + l_{oc}) + q_{oc} \cdot 0,5l_{oc}^2] \cos \gamma. \end{aligned} \quad (7.22)$$

Опорные реакции в шарнире A (см. рисунок 7.3):

$$R_{AX} = 0,5P \sin \theta \pm \frac{1}{b} G_q \operatorname{tg}\beta(2l_p + l_3) \cos \gamma; \quad (7.23)$$

$$\begin{aligned} R_{AY} = & 0,5P \cos \theta - G_q - (q + q_n)(l_p + l_3) - q_{oc} l_{oc} \pm \\ & \pm \frac{1}{b} G_q \operatorname{tg}\beta(2l_p + l_3) \sin \gamma. \end{aligned} \quad (7.24)$$

Порядок выполнения работы

1 Изучить расчетные схемы и методику определения нагрузок, действующих на секции телескопической стрелы.

2 По исходным данным, заданным преподавателем, определить изгибающие моменты, действующие на секции телескопической стрелы и опорные реакции.

8 Расчет несущей способности телескопической стрелы с жесткой и гибкой подвеской

Цель занятия: приобретение теоретических и практических навыков по устройству, определению прочностных характеристик стрелового оборудования автомобильных кранов.

Современные автомобильные краны оборудуются телескопическими стрелами с жесткой подвеской. Такие стрелы имеют одну, две, три и более выдвижных секций. Подъем и опускание стрелы с грузом или без груза осуществляются гидроцилиндром, работающим на сжатие. При этом телескопическая стрела с жесткой подвеской от действия силы тяжести груза и собственной силы тяжести работает в основном на изгиб, как консоль. В первых образцах стреловых кранов с телескопическими стрелами применялась гибкая подвеска основания стрелы. Выдвижная секция работала как консоль. Схема для расчета несущей способности телескопической стрелы с жесткой подвеской представлена на рисунке 8.1.

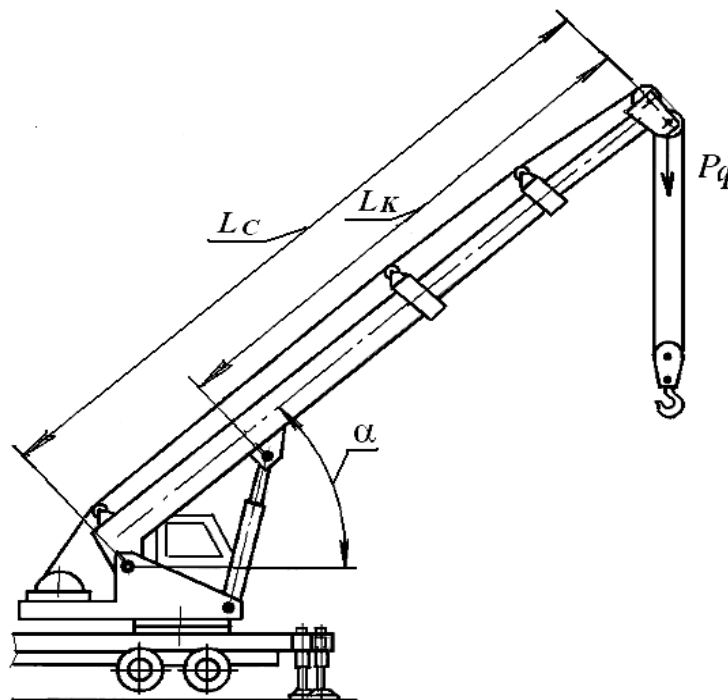


Рисунок 8.1 – Схема для расчета несущей способности телескопической стрелы с жесткой подвеской

Выдвижение каждой последующей секции стрелы по отношению к предыдущей осуществляется на 6 м по длине рабочего хода гидроцилиндров выдвижения.

В соответствии с техническими линейными параметрами, представленными в таблице 8.1, диапазон изменения угла наклона телескопической стрелы к горизонту при изменении вылета составляет от 30 до 70°. Длина секций стрелы составляет: выдвижных – 7,8 м; неподвижной – 8...9 м, в зависимости от модификации крана.

Основные технические характеристики автокранов, выпускаемых Могилевским заводом «Трансмаш», представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Технические характеристики автомобильных кранов Могилевского завода «Трансмаш»

Наименование показателя	Тип крана		
	КС-3579	КС-45729А	КС-55727-1
Максимальная грузоподъемность, т	15	15	25
Вылет минимальный, м	3,0	3,0	3,2
Число выдвижных секций	2	2	3
Длина стрелы, м	8,75...20,75	8,5...20,5	10,08...28,08
Максимальный вылет, м	18	12	20
Грузоподъемность при максимальном вылете, т	0,6	1,2	0,7
Длина стрелы при максимальном вылете, м	20,75	20,5	28,08

На рисунке 8.2 представлен один из вариантов автомобильного крана с гибкой подвеской телескопической стрелы. Выдвижение подвижной секции стрелы осуществляется гидроцилиндром, встроенным внутри основания стрелы. Подъем и опускание телескопической стрелы осуществляется гидроцилиндрами 1, работающими на растяжение. Стреловая лебедка 2 обеспечивает компенсацию длины стрелового полиспаста 3 при изменении длины стрелы. При этом угол между продольной осью стрелы и подкосом 4 стреловой лебедкой 2 поддерживается в пределах 90°, что обеспечивает наименьшие усилия сжатия стрелы и подкоса 4, а так же усилие в стреловом полиспасте 3. Подъем и опускание груза осуществляется грузовой лебедкой 5. При этом угол между продольной осью стрелы и подкосом 4 не изменяется и составляет 90°, что при прочих равных условиях обеспечивает наименьшее усилие сжатия стрелы, подкоса и усилие в канатах 5. Такое исполнение телескопической стрелы с одной выдвижной удлиненной (12 м) секцией позволяет изменять длину стрелы при работе крана от 12 до 21 м. По этим показателям такое стреловое оборудование соответствует автомобильным кранам КС-3579 и КС-4572А, у которых телескопические стрелы имеют по две выдвижные секции.

Телескопическая стрела с гибкой подвеской от силы тяжести груза в основном работает на сжатие, а от действия собственной силы тяжести – на

изгиб. На рисунке 8.3 представлена схема для определения соотношения между силой тяжести груза и силой сжатия телескопической стрелы с гибкой подвеской.

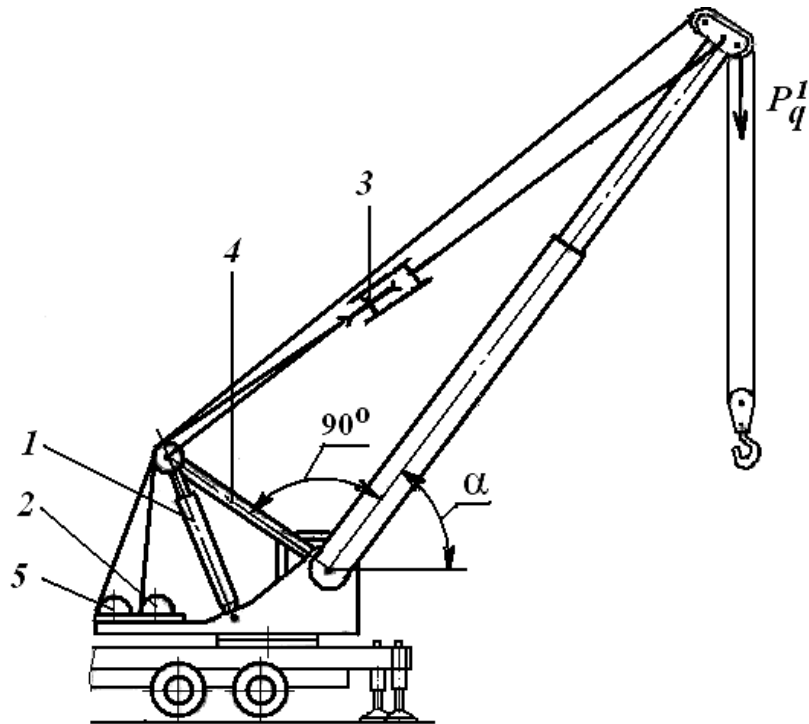


Рисунок 8.2 – Автомобильный кран с гибкой подвеской телескопической стрелы

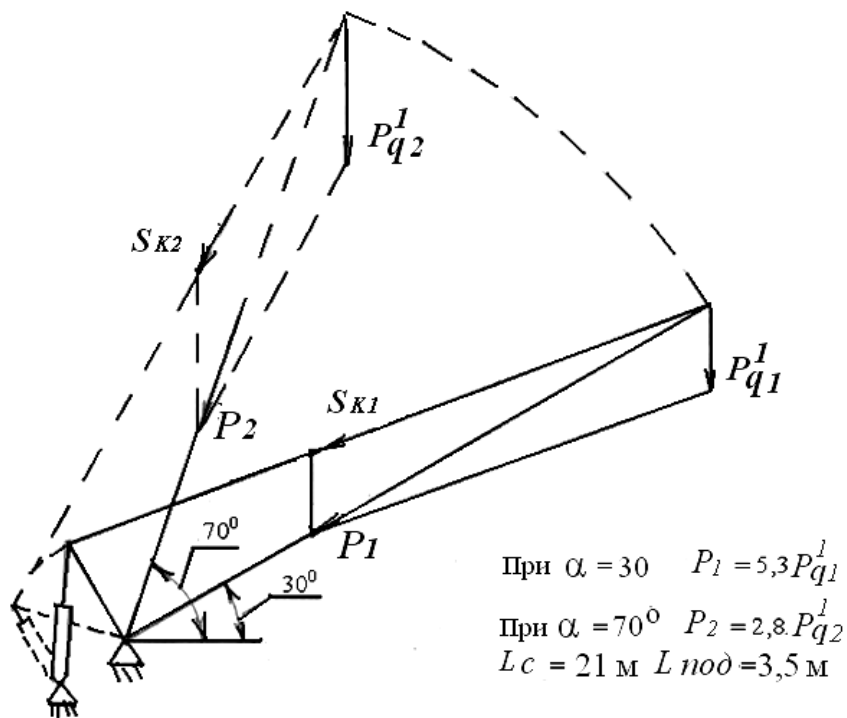
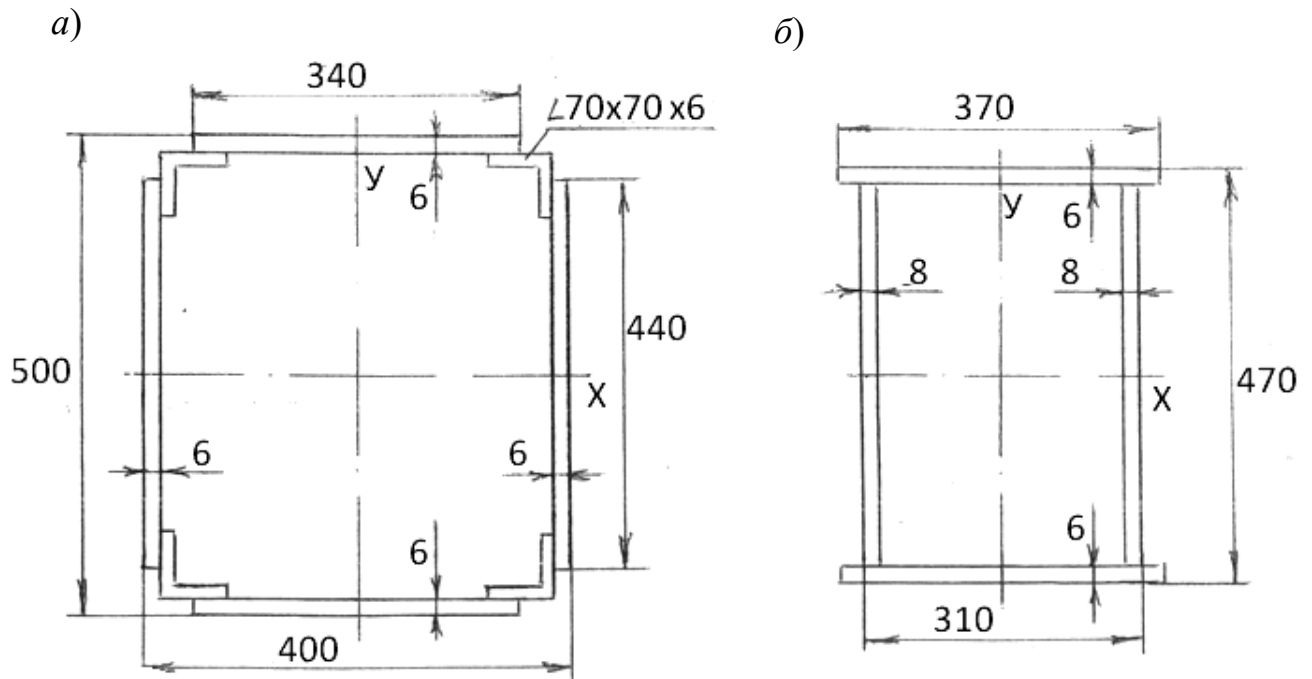


Рисунок 8.3 – Схема для определения соотношения между силой тяжести груза и силой сжатия стрелы с гибкой подвеской

На рисунке 8.4 представлены поперечные сечения секций телескопической стрелы с жесткой и гибкой подвеской, а их геометрические характеристики в таблице 8.2.



a – неподвижная секция с жесткой и гибкой подвеской; *б* – выдвижная секция с гибкой подвеской

Рисунок 8.4 – Поперечные сечения секций телескопической стрелы

Таблица 8.2 – Геометрические характеристики поперечных сечений секций стрелы

Геометрическая характеристика	Неподвижная секция	Выдвижная секция
1 Площадь поперечного сечения F , м ²	0,01262	0,011768
2 Момент инерции J , м ⁴ :		
относительно X	$4,179 \cdot 10^{-4}$	$2,446 \cdot 10^{-4}$
относительно Y	$3,075 \cdot 10^{-4}$	$1,669 \cdot 10^{-4}$
3 Момент сопротивления ω , м ³ :		
относительно X	$16,7 \cdot 10^{-4}$	$10,41 \cdot 10^{-4}$
относительно Y	$15,4 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$
4 Радиус инерции i , м:		
относительно X	0,182	0,144
относительно Y	0,156	0,12
5 Равномерно распределенная нагрузка от действия собственной силы тяжести q , Н/м	966	900

Несущая способность телескопической стрелы с жесткой подвеской определяется на основании схемы, представленной на рисунке 8.1.

Максимальный изгибающий момент, действующий на стрелу,

$$M_{\max} = L_K \cdot P_q \cdot \cos \alpha + q_{cp} \frac{L_K^2}{2} \cos \alpha, \quad (8.1)$$

где q_{cp} – усредненная распределенная нагрузка от действия собственной силы тяжести, $q_{cp} = \frac{966+900}{2} = 933$ Н/м.

Напряжение изгиба

$$\delta = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{L_K \cdot P_q \cdot \cos \alpha}{W_x} + \frac{q_{cp} \frac{L_K^2}{2} \cos \alpha}{W_x} \leq [\delta]. \quad (8.2)$$

Допускаемое напряжение на изгиб составляет для сталей: Ст 3 – 150 МПа; 09Г2С – 200 МПа; 10ХСНд – 250 МПа.

Дополнительное напряжение от сжатия стрелы из-за действия собственной силы тяжести и груза не учитывается, т. к. оно составляет не более 0,1 от напряжения изгиба при поднятой стреле.

Несущая способность телескопической стрелы

$$P \leq \frac{W_x \cdot [\delta] - q_{cp} \frac{L_K^2}{2} \cos \alpha}{L_K \cos \alpha}. \quad (8.3)$$

Несущая способность телескопической стрелы с гибкой подвеской (см. рисунки 8.2 и 8.3) определяется по условию обеспечения ее устойчивости на сжатие с одновременным действием изгибающего момента от действия собственной силы тяжести. Расчет на устойчивость производится для выдвигной секции, как менее прочного элемента.

Гибкость выдвигной секции в двух взаимно перпендикулярных плоскостях:

$$\lambda_x = \frac{\mu_x L_{cmp}}{i_x}; \quad \lambda_y = \frac{\mu_y L_{cmp}}{i_y}, \quad (8.4)$$

где μ_x, μ_y – коэффициенты расчетной (приведенной) длины стрелы: $\mu_x = 0,7$; $\mu_y = 1$;

i_x, i_y – радиус инерции поперечного сечения выдвигной секции относительно оси x и y , в соответствии с таблицей 8.2 $i_x = 0,144$ м, $i_y = 0,12$ м.

$$\lambda_x = \frac{1 \cdot 21}{0,144} = 146; \quad \lambda_y = \frac{0,7 \cdot 21}{0,12} = 122,5.$$

Следовательно, коэффициент продольного изгиба (коэффициент понижения допускаемого напряжения) составляет $\varphi = 0,347$.

Максимальное напряжение в выдвигной секции с учетом сжатия и изгиба

$$\delta = \frac{P}{F} + \frac{q_{cp} L_c^2}{8W_x} \cos \alpha \leq \varphi[\delta], \quad (8.5)$$

где F – площадь поперечного сечения выдвигной секции, $F = 0,01178 \text{ м}^2$;

W_x – момент сопротивления поперечного сечения относительно оси X ,
 $W_x = 10,41 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$.

Тогда

$$P \leq \varphi \cdot [\delta] \cdot F - \frac{q_{cp} \cdot L_c^2}{8 \cdot W_x} \cdot F \cdot \cos \alpha. \quad (8.6)$$

Несущая способность телескопической стрелы с гибкой подвеской

$$P_q^1 \leq \frac{P}{n}, \quad (8.7)$$

где n – соотношение между силой сжатия стрелы и силой тяжести груза (см. рисунок 8.3): при $\alpha = 30^\circ$ $n \approx 5,3$; при $\alpha = 70^\circ$ $n \approx 2,8$.

Порядок выполнения работы

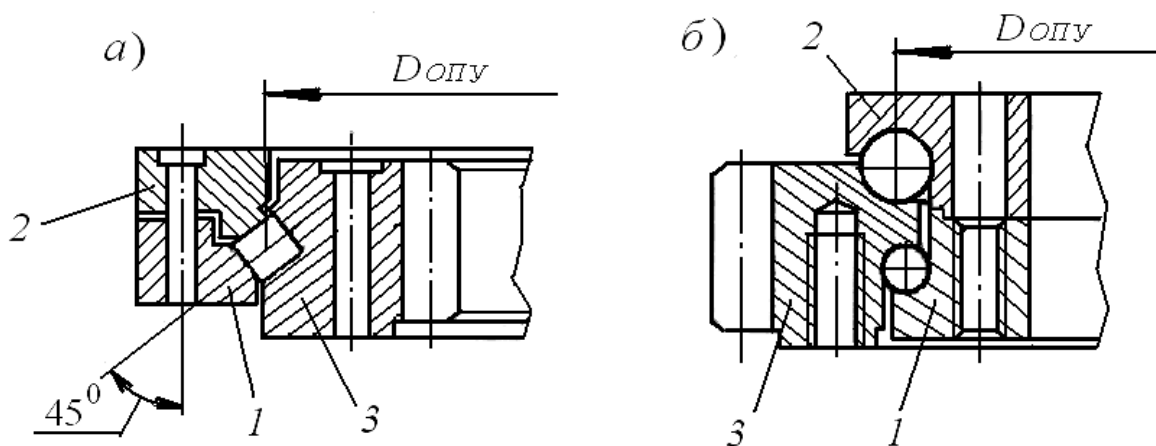
1 Изучить конструктивные особенности стрелового оборудования с жесткой и гибкой подвесками и основы расчета несущей способности.

2 По исходным данным, заданным преподавателем, определить несущую способность телескопической стрелы с гибкой и жесткой подвеской.

9 Основы расчета опорно-поворотных устройств стреловых кранов

Цель занятия: изучение конструкций основных типов опорно-поворотных устройств стреловых поворотных кранов, основы их расчета и выбора.

Опорно-поворотные устройства (ОПУ) служат для соединения поворотной части крана с неповоротной и передачи нагрузок (момента M , вертикальной V и горизонтальной H составляющих) на неповоротную часть. Различают ОПУ для кранов с неподвижной или вращающейся колонной, для тележек с круговым плоским или коническим рельсом. В современных стреловых самоходных кранах, в том числе и автомобильных, применяют ОПУ подшипникового типа шариковые и роликовые, одно-, двух- и трехрядные. На рисунке 9.1 представлены ОПУ – однорядное роликовое и двухрядное шариковое. ОПУ представляет собой два кольца – внутреннее и наружное, одно из которых выполнено с зубчатым венцом. При внутреннем зубчатом зацеплении наружное кольцо выполняется разрезным для удобства сборки и состоит из двух полуколец 1 и 2. При внешнем зубчатом зацеплении внутреннее кольцо выполняется разрезным. По периметру колец предусмотрены болтовые отверстия для установки стяжных болтов и болтов крепления ОПУ к поворотной и неповоротной частям крана. Такие ОПУ компактны (имеют малую высоту и массу, свободное внутреннее пространство), надежны и долговечны. Можно применять и неразрезные кольца с отверстием в одном из них для последовательного проталкивания тел качения. Такая конструкция усложняет сборку и ремонт ОПУ.



а – однорядные роликовые с зубьями внутреннего зацепления; *б* – двухрядные шариковые с зубьями внешнего зацепления

Рисунок 9.1 – Опорно-поворотные устройства

Для уменьшения износа шариковых тел качения между ними вставляются прокладки из антифрикционного материала – обычно полимерного. В роликовых ОПУ ролики размещают крестообразно с тем, чтобы часть роликов (через одного) воспринимала нагрузки при подъеме груза, а остальные – нагрузки от хвостовой части крана при отсутствии груза.

Ролики размещают вплотную друг к другу. Для улучшения работоспособности ОПУ в рабочую зону подается смазочный материал, а зазоры между кольцами перекрываются манжетами. Основные параметры однорядных роликовых ОПУ представлены в таблице 9.1.

Диаметр трехрядных роликовых ОПУ фирмы Rote Erde достигает 8,22 м. Известно ОПУ для плавучего крана диаметром 11,5 м, рассчитанное на передачу вертикальной и горизонтальной нагрузок 76 и 8,4 МН и опрокидывающего момента 878,7 МН·м.

Из-за больших размеров по диаметру и небольших в поперечном сечении собственная жесткость ОПУ мала. Для нормальной работы, исключения заедания и перегрузки колец, нужно соблюдать очень жесткие требования к конструкции, примыкающей к ОПУ, касающиеся неплоскостности, шероховатости и жесткости. Так неплоскостность опорной поверхности, на которую устанавливается ОПУ, не должна превышать 0,0001 диаметра ОПУ. Шероховатость опорных поверхностей не более 40 мкм. На опорных поверхностях рам желательны центрирующие окружные бурты с цилиндрическими поверхностями или другие способы центрирования. Стяжные болты ОПУ и болты крепления к поворотной и неповоротной частям крана изготавливают из высокопрочных сталей (сталь 55 – $\sigma_s = 800$ МПа, 40Х – $\sigma_s = 1100...1300$ МПа, 40ХФА, 38ХС – $\sigma_s = 1350$ МПа).

Таблица 9.1 – Основные параметры однорядных роликовых ОПУ с зубьями внутреннего зацепления (рисунок 9.1, а)

Но- мер ОПУ	D , мм	H , мм	Мас- са, кг	D_1 , мм	D_2 , мм	H , мм	B , мм	d_p , мм	$D_{\phi 1}$, мм	$D_{\phi 2}$, мм	d_{ϕ} , мм	n	Момент затяжки, Н·м
1	560	65	55	480	485	54	4	16	535	425	16	12	150...170
2	800		90	713	717				770	660			
3	1000	70	150	892	898	58	5	20	965	830	16	16	200...220
4	1190	65	180	1082	1090	61		30	1150	1020	20	20	
5	1400	95	350	1275	1285	80		36	1360	1195	20	24	350...400
6	1600	115	590	1443	1445	99		42	1545	1350	24	32	600...650
7	1900	130	900	1712	1728	113		50	1835	1610	27	36	800...850
8	2240	140	1160	2035	2055	125		10	2170	1920	30	45	1150...250
9	2500	145	1300	2307	2300	145			2430	2210		48	
10	2650	165	2200	2407	2429	140	8	60	2580	2270	36	48	1900...000
11	3000	190	3200	2734	2760	162			2920	2590	42	60	3400...500

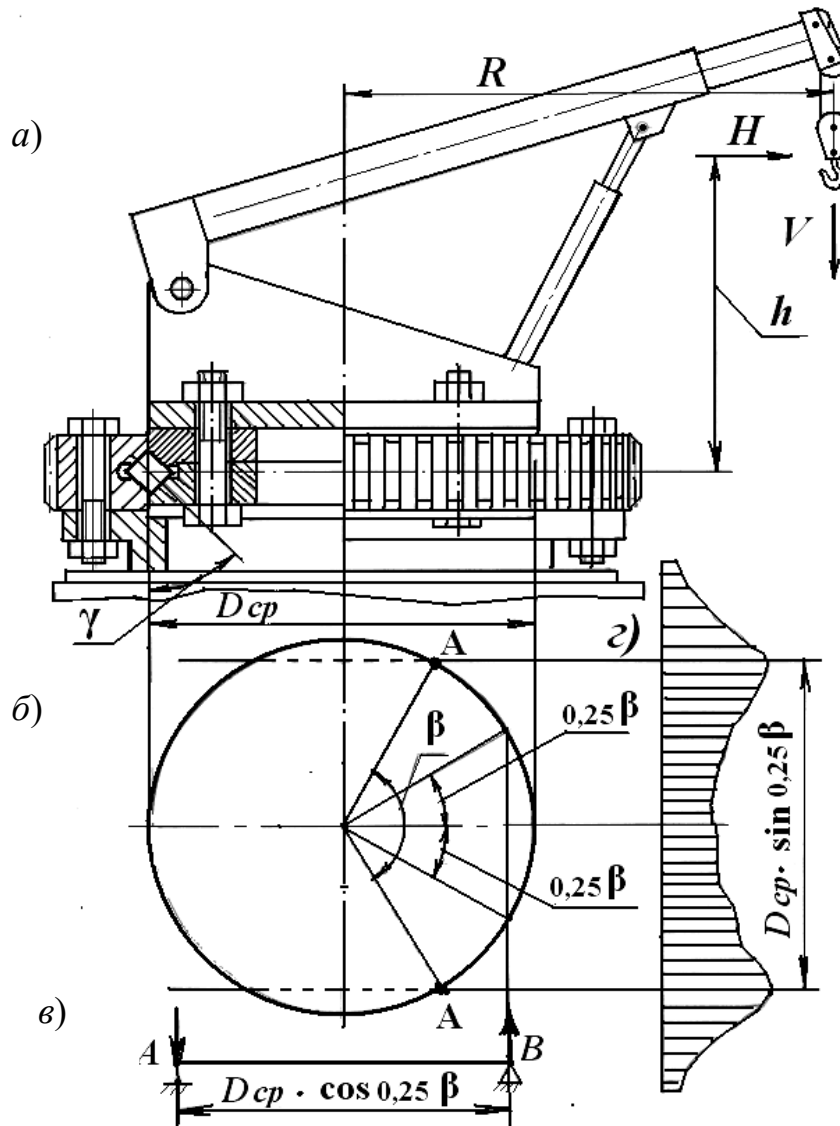
Расчет ОПУ заключается в определении наибольших нагрузок на тела качения и установления их размеров.

Все силы, действующие на ОПУ, в соответствии с рисунком 9.2 можно свести к вертикальной V , приложенной в центре ОПУ, горизонтальной H , приложенной по центру тел качения, и моменту M :

$$M = V \cdot R + H \cdot h, \quad (9.1)$$

где R и h – плечи сил относительно оси вращения поворотной части крана.

Шариковые и роликовые, а также другие аналогичные многокатковые ОПУ представляют собой статически неопределимые системы.



a – схема нагружения ОПУ; b – схема опорного участка; $в$ – расчетная схема пролета с опорными реакциями; $г$ – развернутая эпюра нагружения

Рисунок 9.2 – Расчетные схемы ОПУ

Распределение общего давления между телами качения в ОПУ зависит от жесткости отдельных их элементов. Наибольшую нагрузку воспринимают элементы, находящиеся в данный момент под основными продольными хребтовыми балками неповоротной рамы крана (см. рисунок 9.2, b). Примерная эпюра нагрузок на тела качения представлена на рисунке 9.2, $г$).

В результате проведенных исследований было установлено, что нагрузка между опорными элементами распределяется по эпюре, подобной эпюре реакции упругого основания на балку, нагруженную сосредоточенными в точках, соответствующих местам соприкосновения опорного круга с продольными и

поперечными балками рамы крана. Причем основная часть нагрузки воспринимается элементами, расположенными между продольными балками, независимо от того, выходит ли равнодействующая нагрузка за пределы опорного контура ОПУ или нет.

Расчет ОПУ в целом представляет собой специальную задачу, решаемую в зависимости от применяемых материалов, требуемой долговечности и др. Обычно так же, как и для всех подшипников качения, изготовителем приводятся значения допускаемых нагрузок – вертикальных, горизонтальных и моментных – для ОПУ конкретного типоразмера (см. рисунок 9.2), которыми руководствуются при разработке конструкции крана.

Для приближенного определения нагрузок на тела качения можно при достаточной жесткости опорного круга и передней части рамы рассматривать круг, как двухопорную балку с пролетом $D_{cp} \cos \frac{\beta}{4}$ (см. рисунок 9.2, в), распределив полученные опорные реакции между всеми элементами, расположенными между продольными балками рамы.

Опорные реакции A и B

$$A = \frac{V}{2} - \frac{V \cdot R + H \cdot h}{D_{cp} \cdot \cos 0,25\beta}; \quad B = \frac{V}{2} + \frac{V \cdot R + H \cdot h}{D_{cp} \cdot \cos 0,25\beta}, \quad (9.2)$$

где β – центральный угол, стороны которого проходят через точки A пересечения окружности среднего диаметра опорного круга с продольными балками крана.

При общем числе тел качения в ОПУ m в дуге с углом β их будет

$$m' = \frac{m \cdot \beta}{2\pi}. \quad (9.3)$$

Средняя нагрузка на одно тело качения

$$T = \frac{B}{m'} = \frac{2\pi}{m \cdot \beta} \left(\frac{M}{D_{cp} \cdot \cos 0,25\beta} + \frac{V}{2} \right). \quad (9.4)$$

При наиболее часто встречающемся $\beta = 120^\circ = \frac{\pi}{1,5}$,

$$T_{120^\circ} = \frac{1}{m} \left(\frac{3,45}{D_{cp}} + 1,5 \cdot V \right). \quad (9.5)$$

В роликовых и шариковых ОПУ, ввиду того, что опорная реакция роликов или шариков наклонена под углом γ к вертикали, нагрузка на тело качения роликов или шариков будет составлять

$$T_{m.k.} = \frac{T}{\cos \gamma}. \quad (9.6)$$

Диаметры роликов и шариков определяют на основании теории контактных напряжений. Допускаемые напряжения зависят от твердости и износостойкости беговых дорожек. При выполнении колец из хромистой или марганцовистой стали с поверхностной твердостью 47...55 HRC и стандартных шариков и роликов из шарикоподшипниковой стали допускаемое напряжение для шариков $\delta_{cm}^u \approx 2250$ МПа, для роликов $\delta_{cm}^p \approx 1500$ МПа. При диаметре шарика $d_{ш}$ и диаметре ролика $d_p = l_p$ (диаметр ролика равен его длине) допускаемая нагрузка (в меганьютонах) на тело качения шарик или ролик составит: $T_{ш} = 45d_{ш}^2$; $T_p = 30d_p^2$.

Порядок выполнения работы

- 1 Изучить основные конструкции ОПУ, их назначения и основы расчета.
- 2 По исходным данным, заданным преподавателем, подобрать номер одноорядного роликового ОПУ и определить нагрузку на тело качения.

10 Расчет минимального радиуса закругления рельсового пути башенного крана

Цель занятия: изучение способов обеспечения прохода башенных кранов по криволинейным путям и методики расчета минимального радиуса закругления рельсового пути.

Для обеспечения возможности прохода башенных кранов по криволинейному пути при возведении зданий сложной конфигурации используют следующие конструктивные решения: трехопорное ходовое устройство; перемещение ходовых колес вдоль их осей; применение пятого колеса, катящегося по центральному рельсу с возвышением на кривых, так что пара колес приподнимается над рельсами и кран становится трехопорным.

В настоящее время для обеспечения проходимости крана по криволинейным участкам применяют флюгера с поворотными тележками, как показано на рисунке 10.1. Минимальный радиус закругления рельсового пути (по внутреннему рельсу) определяется из условия, чтобы изогнутый рельс с шириной

головки b (рисунок 10.2) вписался в межребордную ширину колеса b_1 при базе тележки B .

В соответствии с рисунком 10.2

$$R = \frac{B}{2 \sin \alpha}. \quad (10.1)$$

Можно считать, что на длине L рельс прямолинейен. Тогда

$$L \operatorname{tg} \alpha + b = b_1. \quad (10.2)$$

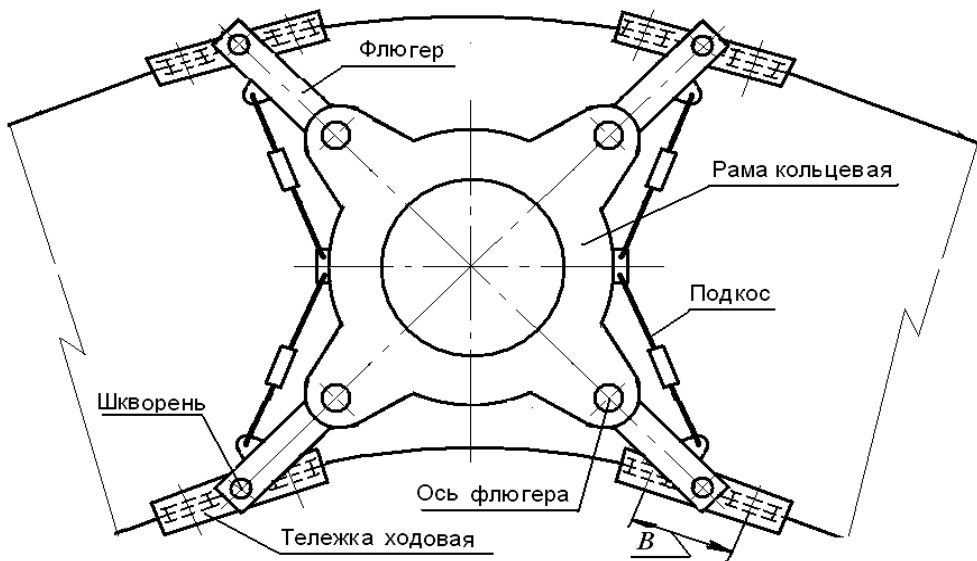


Рисунок 10.1 – Ходовое устройство башенного крана

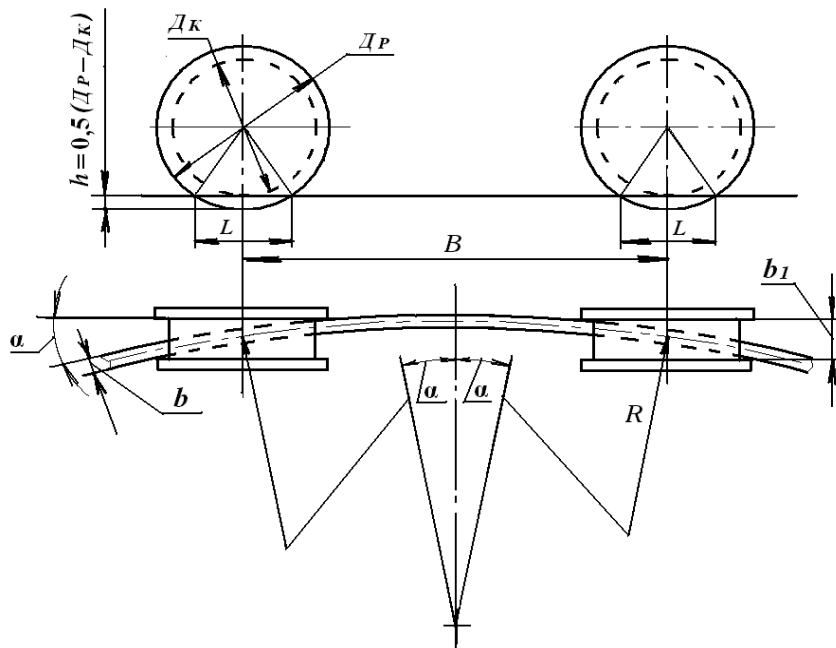


Рисунок 10.2 – Расчетная схема для определения допустимого радиуса кривой

Принимая во внимание незначительную величину угла α можно записать

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{b_1 - b}{L} \approx \sin \alpha. \quad (10.3)$$

База L контакта реборд колеса с рельсом определится как хорда

$$L = 2\sqrt{(0,5D_P)^2 - (0,5D_K)^2} = \sqrt{D_P^2 - D_K^2}. \quad (10.4)$$

Так как $D_P = D_K + 2h$, то

$$L = \sqrt{(D_K + 2h)^2 - D_K^2} = \sqrt{D_K^2 + 4D_Kh + 4h^2 - D_K^2} = 2\sqrt{D_Kh + h^2}. \quad (10.5)$$

Тогда

$$R = \frac{B\sqrt{D_K \cdot h + h^2}}{b_1 - b} \quad \text{или} \quad R = \frac{\sqrt{D_P \cdot h - h^2}}{b_1 - b}. \quad (10.6)$$

Порядок выполнения работы

1 Изучить способы обеспечения прохода башенных кранов по криволинейным путям и методику расчета минимального радиуса закругления рельсового пути.

2 По исходным данным, заданным преподавателем, определить минимальный радиус закругления рельсового пути.

11 Определение фактической высоты подъема груза с учетом его габаритных размеров

Цель занятия: уяснение необходимости, приобретение и закрепление теоретических и практических навыков определения фактической высоты подъема груза с учетом его габаритных размеров и параметров стрелового оборудования грузоподъемного крана, конструктивные исполнения стрел с увеличенной высотой подъема крупногабаритных грузов.

В паспорте стрелового крана любого типа, в том числе и автомобильного, в обязательном порядке представляется его грузовая и высотная характеристика (рисунок 11.1). На основании высотной характеристики можно определить высоту подъема крюка в зависимости от его вылета от оси вращения.

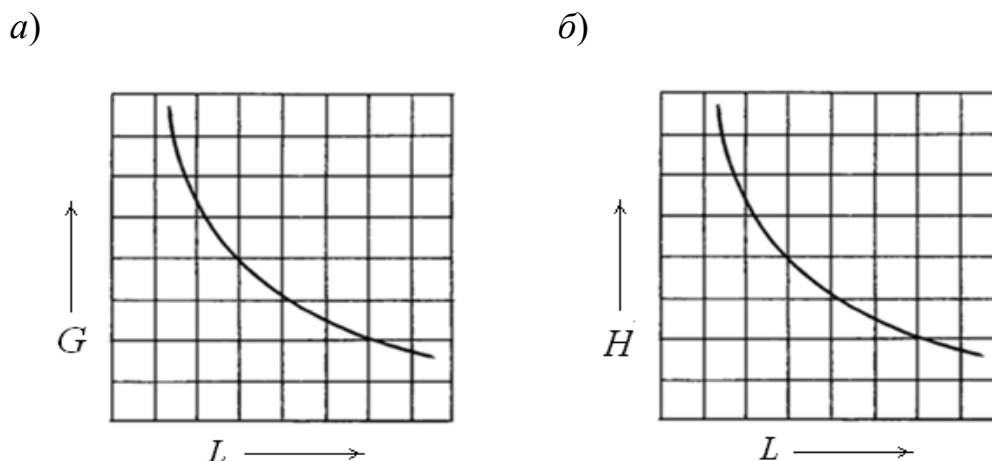


Рисунок 11.1 – Грузовая (а) и высотная (б) характеристики стрелового крана

Возможная высота подъема груза H_{Γ} , имеющего конкретные размеры в плане и по высоте меньше высоты подъема крюка. Естественно, чем больше габаритные размеры груза, тем меньше высота его подъема.

В большинстве случаев при обосновании выбора того или иного типа стрелового крана для выполнения погрузо-разгрузочных или строительномонтажных работ необходимо точно определить возможности крана по высоте подъема конкретного груза на различных вылетах.

Установка стрелового крана для выполнения строительномонтажных и других работ должна производиться в соответствии с проектом производства работ. Одним из требований при этом является обоснование соответствия устанавливаемого крана условиям строительномонтажных работ по грузоподъемности, высоте подъема и вылету. При этом кран следует подбирать так, чтобы все его вышеуказанные параметры были близки к требуемым, т. е. не должно быть больших запасов по грузоподъемности, высоте подъема и вылету. Необходимо, чтобы кран был наиболее экономичен в конкретных условиях.

Расчетная схема для определения высоты подъема груза в зависимости от его габаритных размеров и конструктивных параметров крана и стрелового оборудования представлена на рисунке 11.2.

К конструктивным параметрам крана и стрелового оборудования, от которых зависит высота подъема груза, относятся: длина стрелы – l_c ; расстояние от продольной оси стрелы до оси шарнира ее крепления – m и до оси верхних блоков грузового полиспаста – a ; расстояние от оси вращения поворотной части крана до оси шарнира крепления стрелы – n ; расстояние от оси шарнира крепления стрелы до опорной площадки – h .

При подъеме груза на максимальную высоту необходимо, чтобы между грузом и стрелой обеспечивался гарантийный зазор $K \geq 200 \dots 300$ мм. При подъеме и перемещении груза его контакт со стрелой недопустим.

Согласно рисунку 11.2 высота подъема груза составляет

$$H_{\Gamma} = CB - CB^1 - h_{\Gamma} + h. \quad (11.1)$$

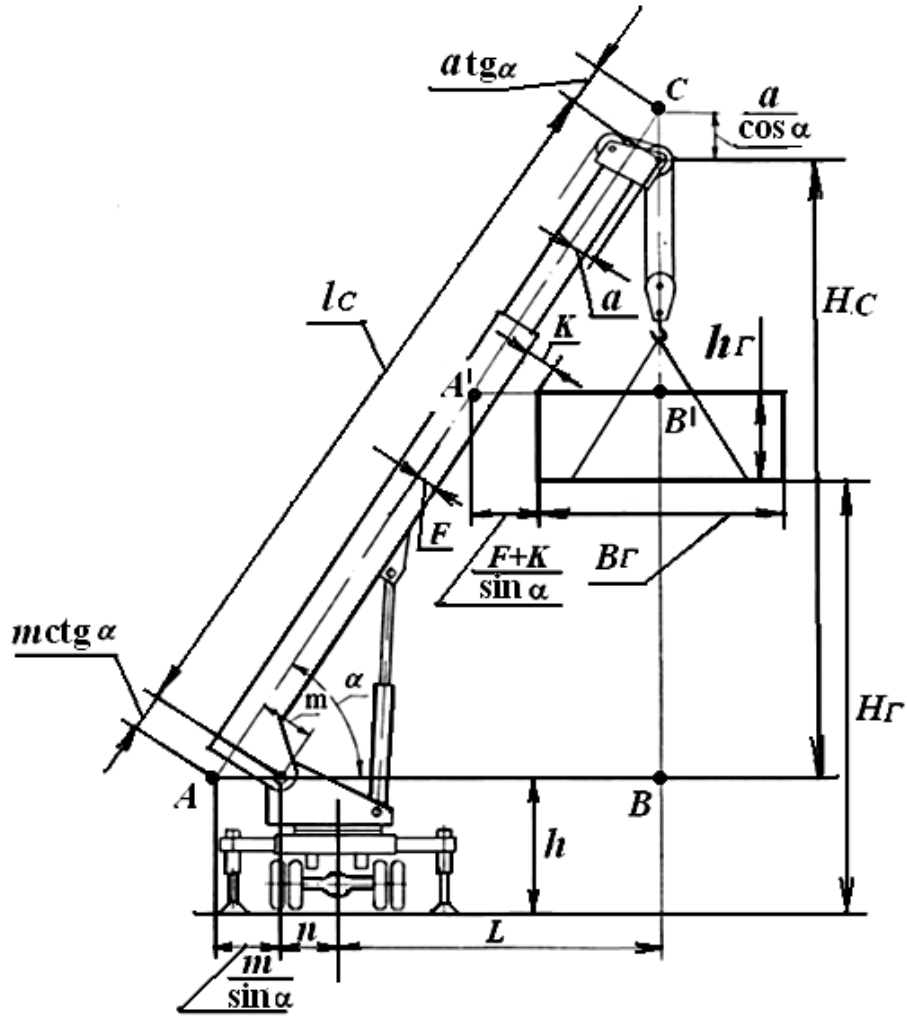


Рисунок 11.2 – Расчетная схема для определения высоты подъема груза

Из прямоугольных треугольников ABC и $A'B'C$ имеем

$$CB = H_C + \frac{a}{\cos \alpha} = (l_C + a \cdot \text{tg} \alpha + m \cdot \text{ctg} \alpha) \sin \alpha; \quad (11.2)$$

$$CB^1 = \left(0,5 B_\Gamma + \frac{F+K}{\sin \alpha} \right) \text{tg} \alpha. \quad (11.3)$$

Тогда высота подъема груза

$$H_\Gamma = (l_C + a \cdot \text{tg} \alpha + m \cdot \text{ctg} \alpha) \sin \alpha - \left(0,5 B_\Gamma + \frac{F+K}{\sin \alpha} \right) \text{tg} \alpha - h_\Gamma + h, \quad (11.4)$$

вылет стрелы

$$L = (l_C + a \cdot \text{tg} \alpha + m \cdot \text{ctg} \alpha) \cos \alpha - \frac{m}{\sin \alpha} - n. \quad (11.5)$$

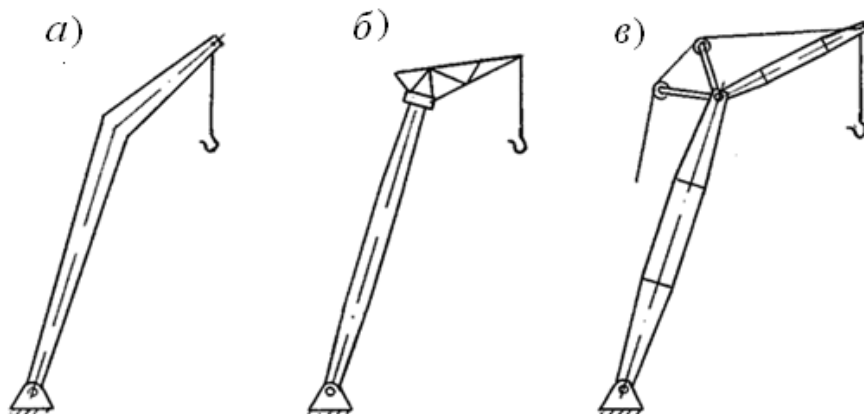
Подставляя в выражения (11.4) и (11.5) $\alpha_1 = 80^\circ$, $\alpha_2 = 75^\circ$, $\alpha_3 = 70^\circ$ и т. д. $\alpha_n = 10^\circ$ определяют высоту подъема груза H_Γ и соответствующий ей вылет L , строят график зависимости $H_\Gamma = f(L)$. При этом необходимо учитывать, чтобы вылет крюка L не превышал предельного в соответствии с грузовой характеристикой (см. рисунок 11.1, а).

При подъеме груза с малыми габаритными размерами в плане высота подъема определяется высотой подъема крюка H в соответствии с высотной характеристикой (рисунок 11.1, б). В этом случае высота подъема груза на соответствующем вылете составит

$$H_\Gamma = H - h_{\text{ГЗП}} - h_\Gamma, \quad (11.6)$$

где $h_{\text{ГЗП}}$ – высота грузозахватного приспособления, т. е. расстояние между опорной точкой зева крюка и поверхностью груза.

В целях увеличения высоты подъема грузов с большими габаритами в плане применяют изогнутые стрелы и стрелы с жестким или маневренным гуськом, представленные на рисунке 11.3.



а – изогнутая стрела; б – стрела с жестким гуськом; в – стрела с маневренным гуськом

Рисунок 11.3 – Стрелы с увеличенной высотой подъема

Расчетная схема по определению высоты подъема груза для этих стрел представлена на рисунке 11.4, согласно которой применение гуська длиной l_Γ , установленного под углом β к продольной оси стрелы, равнозначно увеличению длины стрелы на величину Δl .

Горизонтальная проекция гуська

$$l_\Gamma^r = l_\Gamma \cdot \cos(\alpha - \beta). \quad (11.7)$$

Тогда из прямоугольного треугольника $ОБД$

$$\Delta l = \frac{l_\Gamma \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\cos \alpha}. \quad (11.8)$$

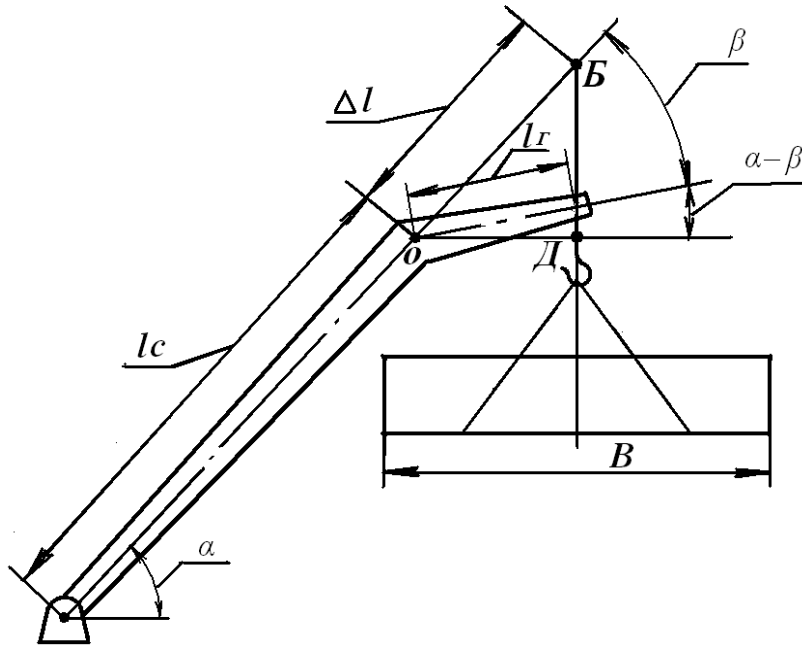


Рисунок 11.4 – Расчетная схема для стрел с увеличенной высотой подъема груза

Для определения высоты подъема крупногабаритного груза в этом случае и построения зависимости $H_{\Gamma} = f(L)$ в выражения (11.4) и (11.5) вместо l_c необходимо подставить $l_c + \frac{l_r \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\cos \alpha}$.

Следует отметить, что такой расчет приемлем для грузов, у которых $0,5B \geq l_r^{\Gamma}$. В случае, когда $0,5B < l_r^{\Gamma}$, то такой груз по схеме, представленной на рисунке 11.4, можно поднять выше гуська, что невозможно. В этом случае высота подъема груза определится

$$H_{\Gamma} = H - h_{\Gamma\text{III}} - h_{\Gamma}. \quad (11.9)$$

Порядок выполнения работы

1 Законспектировать основные положения по определению высоты подъема груза в зависимости от его габаритных размеров, параметров стрелового оборудования и крана.

2 По заданным преподавателем параметрам крана и стрелового оборудования, габаритным размерам груза и углу наклона стрелы определить высоту подъема и вылет. Причем угол задается каждому студенту разный с определенным шагом, например 25, 30, 35, ..., 75.

3 По результатам расчетов построить графики зависимости высоты подъема и вылета в зависимости от угла.

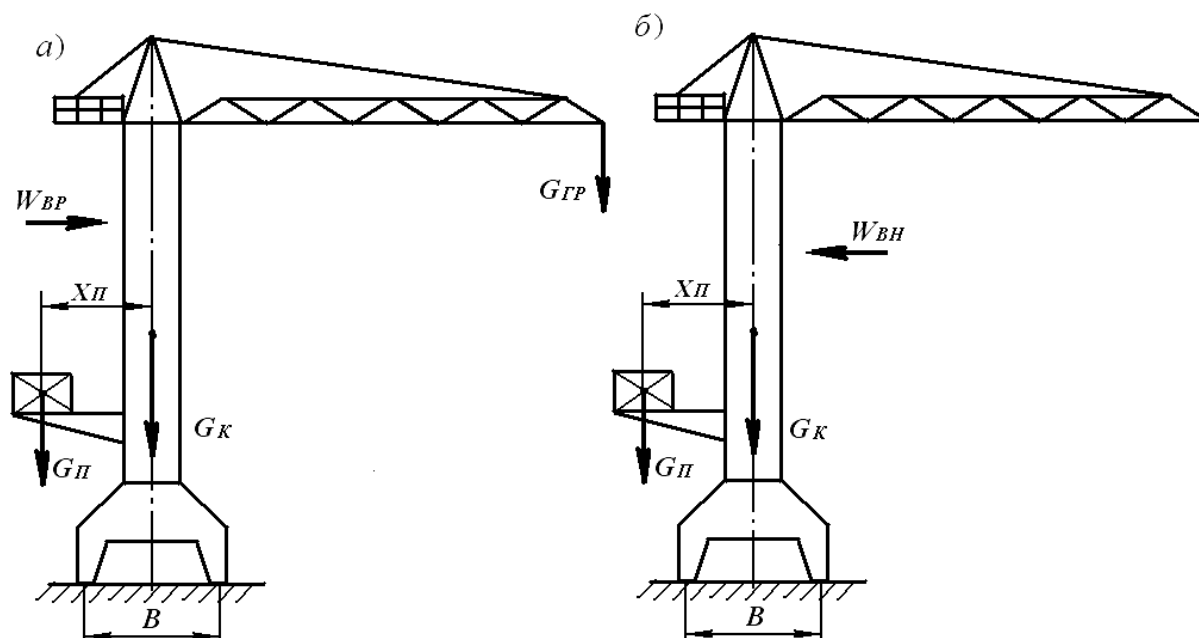
4 По виду графиков сделать заключение о правильности выполненных расчетов каждым студентом.

12 Определение массы противовеса башенного крана и места его расположения

Цель занятия: назначение противовеса и особенности конструктивного исполнения башенных кранов с нижним и верхним его расположением; приобретение и закрепление теоретических и практических навыков по определению массы противовеса и места его расположения.

Повышение устойчивости стреловых самоходных кранов, в том числе и башенных, достигается применением балласта и противовеса. Балласт служит для увеличения силы тяжести крана и располагается на неповоротной части не выходя за габарит опорного контура. Противовес служит для уравнивания части стрелы или груза и располагается на поворотной части за пределами опорного контура. Различают башенные краны с верхним (с неповоротной башней) и нижним (с поворотной башней) расположением противовеса. Перспективным считается подвижный противовес в кранах с неповоротной башней.

Для кранов с нижним расположением противовеса его вес и место расположения следует выбирать так, чтобы была обеспечена устойчивость крана в рабочем и нерабочем состоянии. В рабочем состоянии (с грузом поднятым на максимальную высоту) учитывается нагрузка от ветра рабочего состояния, направленная в сторону груза (рисунок 12.1, а). В не рабочем состоянии учитывается нагрузка от ветра нерабочего состояния в соответствии с рисунком 12.1, б.



а – в рабочем состоянии; б – в нерабочем состоянии

Рисунок 12.1 – Расчетная схема по определению массы противовеса и места его расположения

Уравнение моментов относительно ребра опрокидывания для рабочего и нерабочего состояния

$$G_K \frac{B}{2} + G_{II} \left(X_{II} + \frac{B}{2} \right) = M_{ГР} + M_{ВР}; \quad (12.1)$$

$$G_K \frac{B}{2} - G_{II} \left(X_{II} - \frac{B}{2} \right) = M_{ВН}, \quad (12.2)$$

где G_K – сила тяжести крана;

G_{II} – сила тяжести противовеса;

X_{II} – расстояние от центра тяжести противовеса до оси вращения крана;

B – база (колея) крана;

$M_{ГР}$ – момент, создаваемый силой тяжести груза;

$M_{ВР}$ – момент, создаваемый ветровой нагрузкой рабочего состояния на кран и груз;

$M_{ВН}$ – момент, создаваемый ветровой нагрузкой на кран нерабочего состояния.

Складывая и вычитая уравнения (12.1) и (12.2), получаем минимальный вес противовеса и расстояние от его центра тяжести до оси вращения крана:

$$G_{II} = \frac{M_{ГР} + M_{ВР} + M_{ВН}}{B} - G_K; \quad (12.3)$$

$$X_{II} = \frac{B(M_{ГР} + M_{ВР} + M_{ВН})}{2(M_{ГР} + M_{ВР} - M_{ВН} - G_K \cdot B)}. \quad (12.4)$$

Для кранов с верхним расположением противовеса расстояние от его центра тяжести до оси вращения крана составляет до 0,6 длины стрелы. При нижнем расположении противовеса это расстояние обычно составляет в пределах 3...4 м, т. к. при увеличении этого расстояния кран необходимо располагать на большем расстоянии от возводимого сооружения, что потребует увеличения вылета стрелы. В этом отношении перспективным является применение подвижного противовеса при его верхнем расположении.

В стреловых самоходных кранах, и в первую очередь автомобильных, перспективным является применение съемных противовесов и балластов, доставляемых на участки работы кранов другими транспортными средствами. Установка и снятие балласта и противовеса осуществляется самим краном, что позволяет существенно улучшить и расширить грузовые характеристики крана.

Порядок выполнения работы

1 Уяснить назначение балласта и противовеса.

2 По заданным преподавателем исходным данным определить массу противовеса и место его расположения для крана с поворотной башней.

Список литературы

1 Правила по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов. – Минск: ДИЭКОС, 2015. – 242 с.

2 Справочник по кранам: в 2 т. Т. 1: Характеристика материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / В. И. Брауде [и др.]; под общ. ред. М. М. Гохберга. – Москва: Машиностроение, 1988. – 536 с.: ил.

3 Справочник по кранам: в 2 т. Т. 2: Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / М. П. Александров [и др.]; под общ. ред. М. М. Гохберга. – Ленинград: Машиностроение, 1988. – 559 с.: ил.

4 **Вайнсон, А. А.** Подъемно-транспортные машины / А. А. Вайнсон. – Москва: Машиностроение, 1989. – 536 с.: ил.

5 **Кобзев, А. П.** Специальные краны / А. П. Кобзев, Р. А. Кобзев. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 472 с.

6 **Иванов, В. И.** Специальные грузоподъемные машины / В. И. Иванов, Е. Е. Иванов; под ред. В. И. Иванова. – Минск: Беларуская навука, 1997. – 335 с.