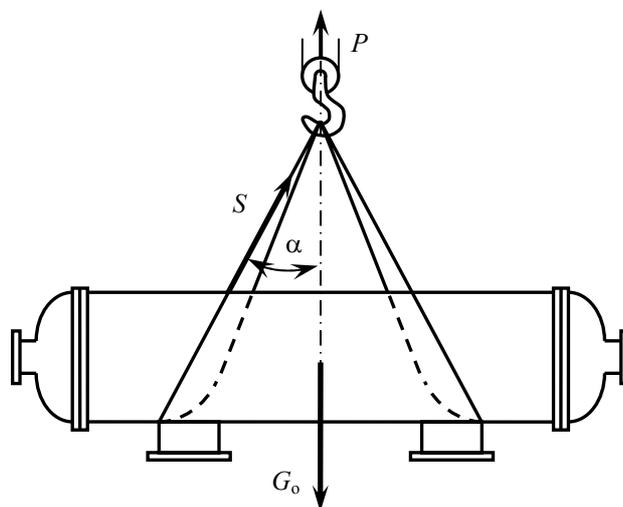


А.Д. ЯЦКОВ, Н.Ю. ХОЛОДИЛИН,
О.А. ХОЛОДИЛИНА

МЕТОДИКА РАСЧЁТА МОНТАЖНОЙ И РЕМОНТНОЙ ОСНАСТКИ



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**А.Д. ЯЦКОВ, Н.Ю. ХОЛОДИЛИН,
О.А. ХОЛОДИЛИНА**

МЕТОДИКА РАСЧЁТА МОНТАЖНОЙ И РЕМОНТНОЙ ОСНАСТКИ

*Утверждено Учёным советом университета
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности 170600 «Машины и аппараты пищевых производств» всех форм обучения*



Тамбов
Издательство ТГТУ
2008

УДК 69.057.7:621.86.06
ББК Л81-5-08я73-5
Я936

Рецензенты:

Заместитель директора
ОАО «Тамбовский завод "Комсомолец" им. Н.С. Артёмова»
В.В. Исаев

Кандидат технических наук, доцент
Тамбовского государственного технического университета
Г.С. Кормильцин

Яцков, А.Д.
Я936 Методика расчёта монтажной и ремонтной оснастки :
учеб. пособие / А.Д. Яцков, Н.Ю. Холодилин, О.А.
Холодилина. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. –
116 с. –
100 экз. – ISBN 978-5-8265-0763-6.

Даны сведения по методике расчёта и подбору грузоподъёмных средств и отдельных элементов такелажной оснастки при монтаже различного технологического оборудования и конструкций. Рассмотрены аналитические и графические способы определения усилий в оснастке с дальнейшим расчётом конструктивных размеров элементов. Отдельные расчёты иллюстрированы схемами и практическими примерами.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 170600 «Машины и аппараты пищевых производств» всех форм обучения.

УДК 69.057.7:621.86.06
ББК Л81-5-08я73-5

ISBN 978-5-8265-0763-6

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2008

Учебное издание

ЯЦКОВ Анатолий Дмитриевич,
ХОЛОДИЛИН Николай Юрьевич,
ХОЛОДИЛИНА Оксана Александровна

МЕТОДИКА РАСЧЁТА МОНТАЖНОЙ И РЕМОНТНОЙ ОСНАСТКИ

Учебное пособие

Редактор О.М. Гурьянова
Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкova

Подписано в печать 24.12.2008.
Формат 60 × 84/16. 6,74 усл. печ. л.
Тираж 100 экз. Заказ № 596

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Величина	Обозначение	Размерность в СИ
1. Усилия и нагрузки		
продольное усилие	N	кН
поперечное усилие	Q	кН
усиления в элементах такелажной оснастки	P, S	кН
усиления трения	F_T	кН
разрывное усилие в канатах	R_K	кН
масса	G	т, кг
изгибающий момент	M	кН · см, кН · м
2. Геометрические характеристики		
высота	H, h	м, см, мм
длина	L, l	м, см, мм
площадь сечения	F	см ²
момент сопротивления сечения	W	см ³
момент инерции сечения	I	см ⁴
радиус инерции сечения	R	см
толщина элемента	δ	см, мм
гибкость элемента	λ	см. прил. 13
3. Характеристики материала		
расчётное сопротивление металла на растяжение, сжатие, изгиб, срез, смятие	R	МПа см. прил. 2
модуль упругости	E	для стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа или $E = 2,1 \cdot 10^4$ кН/см ²
временное сопротивление металла разрыву	$\sigma_{вр}$	МПа
4. Коэффициенты		
коэффициент запаса	k_3	см. прил. 3
коэффициент перегрузки	$k_n = 1,1$	
коэффициент динамичности	$k_d = 1,1$	
коэффициент неравномерности нагрузки	$k_n = 1,1$	При использовании балансирных устройств
	$k_n = 1,2$	При отсутствии балансирных устройств
коэффициент условий работы	m	
коэффициент приведения расчётной длины элемента, зависящий от условий закрепления его концов	μ	
коэффициент продольного изгиба стержня	φ	

ВВЕДЕНИЕ

В настоящем пособии приведены виды расчёта такелажной оснастки и грузоподъёмных приспособлений, а также способы выбора кранов и транспортных механизмов для подъёма и перемещения различного технологического оборудования и конструкций, применяемых в пищевых производствах. Рассмотренные способы расчёта просты, достаточно точны и полны для практического применения. В пособии излагается методика конструктивных расчётов этих элементов, наряду с аналитическим рассматривается также и графический метод определения усилий в такелажной оснастке, являющийся более простым и наглядным; представлен ряд справочных данных в виде таблиц, что избавляет от необходимости обращаться во время расчёта такелажной оснастки к другим справочным источникам.

Представленная методика позволяет использовать технические характеристики новых типов подъёмно-транспортного оборудования.

Данное издание предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения, изучающих технологическое оборудование пищевых производств.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЁТА ТАКЕЛАЖНОЙ ОСНАСТКИ И ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ СРЕДСТВ

При монтаже технологического оборудования и металлоконструкций наравне с монтажными кранами различных типов применяется всевозможное такелажное оборудование и оснастка: монтажные мачты, порталы, шевры и стрелы, опоры, стойки, распорки, монтажные балки, монорельсы, траверсы, полиспасты, блоки, якоря, лебёдки, домкраты, канатные элементы различных назначений (стропы, ванты, стяжки, оттяжки, тяговые и тормозные канаты и т.п.). Технически грамотное использование при условии обеспечения безопасности ведения монтажных работ без излишних запасов прочности связано с расчётом этого оборудования и оснастки.

Расчёт такелажных средств и оснастки сводится к решению следующих двух задач.

1. Определение максимальных расчётных усилий, возникающих в различных элементах такелажных средств в процессе подъёма и перемещения оборудования и конструкций.

2. Определение конструктивных размеров этих элементов с учётом максимальных нагрузок, действующих на них, или подбор стандартного технологического оборудования по расчётным нагрузкам.

Так, для изготовления траверсы вначале определяются расчётные усилия, действующие на неё, а затем по ним – её сечение; при использовании тягового механизма вначале рассчитывают усилие, действующее на тяговый канат, после этого по таблицам подбирается лебедка или трактор с соответствующей этим усилиям технической характеристикой. Решение первой задачи, состоящей в определении расчётных усилий, действующих на элементы такелажа, может быть выполнено аналитическим или графическим методами. Эти методы рассматриваются и используются в данном пособии.

Все расчёты такелажной оснастки выполнены с учётом требований «Инструкции по проектированию, изготовлению и эксплуатации монтажных приспособлений».

Все грузоподъёмные устройства рассчитываются с учётом следующих нагрузок и воздействий:

– масс поднимаемого груза и самого грузоподъёмного устройства вместе со всеми монтажными приспособлениями;

- усилий в оттяжках, расчалках и сбегаящих ветвях полиспастов;
- нагрузок, вызываемых отклонением грузоподъёмного устройства от вертикали;
- динамических воздействий, учитываемых коэффициентом, равным 1,1;
- ветровых нагрузок;
- масс поднимаемых грузов и захватных приспособлений;
- усилий оттяжек.

При переводе единиц системы МКГСС в систему СИ необходимо учитывать, что килограмм-сила P равна весу тела, имеющего массу кг при нормальном ускорении свободного падения $g = 9,8665 \text{ м/с}^2$, т.е. в системе СИ $P = Gg$. Округляя величину ускорения g до 10 м/с^2 , получаем $P = 10G$ (точность, достаточная для методического пособия). В системе СИ единицей напряжения и давления является паскаль, или 1 Н, делённый на 1 м^2 . Для расчётов используют единицу килопаскаль и мегапаскаль ($1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа} = 10 \text{ кН/см}^2$).

МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТАКЕЛАЖНОЙ ОСНАСТКИ И ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ СРЕДСТВ

Элементы такелажной оснастки и грузоподъёмных средств изготавливаются из стали, представляющей собой сплав железа с углеродом. В зависимости от содержания углерода сталь подразделяется на три группы:

- 1) низкоуглеродистая (до 0,25 %);
- 2) среднеуглеродистая (0,25 – 0,6 %);
- 3) высокоуглеродистая (0,6 – 2 %).

Для улучшения свойств стали в неё вводятся легирующие компоненты. В соответствии с количеством легирующих компонентов в сталях последние делятся на:

- углеродистые (легирующие элементы не вводятся);
- низколегирующие (2,5 %);
- среднелегирующие (2,5 – 10 %);
- высоколегирующие (> 10 %).

В такелажных приспособлениях и в грузоподъёмных средствах наиболее распространена Ст3, обозначающая все

разновидности стали этой марки, так как хорошо сваривается и надёжно работает при различных нагрузках.

Для осей и шарниров используется круглый прокат из стали марок СтЗспЗ и Ст5спЗ, сталь 20, 35 и 45.

При такелажных работах рекомендуются стальные канаты следующих типов: для полиспастов и стропов – канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. по ГОСТ 7668–80; для оттяжек, тяг, вант – канат типа ЛК-Р конструкции $6 \times 19(1 + 6 + 6/6) + 1$ о.с. по ГОСТ 2688–80 и т.д.

РАСЧЁТ СВАРНОЙ СОСТАВНОЙ БАЛКИ

Сварная составная балка состоит из трёх основных листов: одного вертикального – стенки и двух горизонтальных – полок.

Расчёт сварной составной балки выполняется следующим образом (рис. 1).

1. Определяем нагрузки P , действующие на балку; максимальный изгибающий момент M_{\max} и требуемый момент сопротивления $W_{\text{тр}}$.

2. Определяем высоту балки (см), исходя из условий обеспечения её жёсткости

$$h_{\min} = l/n_{\text{п}},$$

где l – пролёт балки, см; $n_{\text{п}}$ – коэффициент, зависящий от предельного прогиба $[f]$ для данного типа балки (прил. 1):

$[f]$	1/1000	1/750	1/600	1/500	1/400	1/250	1/200
$n_{\text{п}}$	6	8	10	12	15	25	3

3. Находим оптимальную высоту балки (см), исходя из условий экономичности расхода стали:

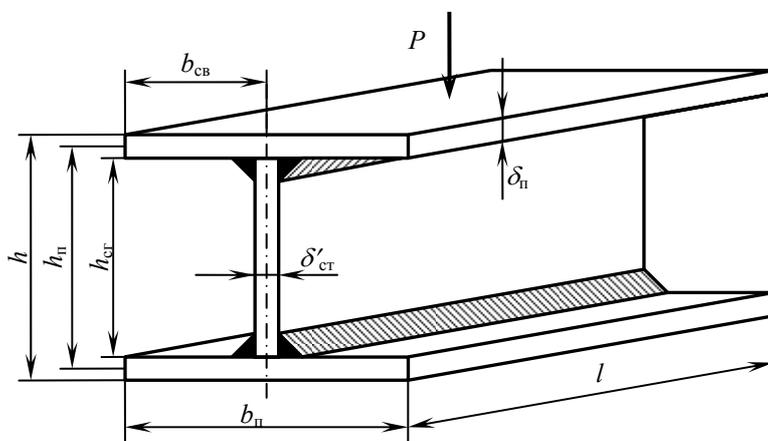


Рис. 1. Расчётная схема балки сварной составной конструкции

$$h_{\text{опт}} = k\sqrt{W_{\text{тр}}/\delta'_{\text{ст}}},$$

где k – коэффициент (для сварных балок постоянного сечения $k = 1,1 \dots 1,15$, для переменного – $k = 1,0$); $\delta'_{\text{ст}}$ – толщина стенки, мм, определяемая предварительно по формуле $\delta'_{\text{ст}} = 7 + 3h$ (здесь $h = l/n_{\text{п}}$, величина l подставляется в метрах).

Окончательную высоту балки h принимаем близкой к $h_{\text{опт}}$ (на 5 – 10 % меньше), но не менее чем h_{\min} , при этом учитываем размер пространства для установки балки и размеры прокатного листа.

4. Подсчитываем минимальную толщину стенки (см) из условия работы на срез

$$\delta_{\text{ст. min}} = kN_{\max}/(h_{\text{ст}}0,1R_{\text{ср}}),$$

где k – коэффициент при работе на срез балки; без учёта полок $k = 1,5$, с учётом полок – $k = 1,2$; N_{\max} – максимальная реакция на опоре, кН; $N_{\max} = P/2$; $h_{\text{ст}}$ – высота стенки балки, см; $h_{\text{ст}} = h - (2 \dots 5)$; $R_{\text{ср}}$ – расчётное сопротивление прокатной стали при срезе, МПа (прил. 2).

По полученной величине $\delta_{\text{ст. min}}$ выбираем $\delta_{\text{ст}}$ с учётом толщины листа по ГОСТ. Если выбранная $\delta_{\text{ст}}$ отличается от $\delta_{\text{ст}}$, ранее принятой для расчёта $h_{\text{опт}}$, более чем на 2 мм, то $h_{\text{опт}}$ следует пересчитать по выбранной $\delta_{\text{ст}}$.

5. Проверяем на местную устойчивость стенку выбранной толщины без дополнительного укрепления её продольными рёбрами (при R , МПа)

$$\delta_{\text{ст}} \geq (h_{\text{ст}}/160)\sqrt{210/R}.$$

Если стенка толщиной $\delta_{\text{ст}}$ не удовлетворяет условию местной устойчивости, то производим её дополнительное крепление или увеличиваем толщину.

6. Определяем требуемую площадь сечения одной полки, см²

$$F_{\text{п. тр}} = 2I_{\text{п. тр}}/h_{\text{п}}^2,$$

где $I_{п.тр}$ – требуемый момент инерции полки, $см^4$; $I_{п.тр} = I_{стг} - I_{ст}$; $I_{ст.тр} = W_{тр}h/2$; $I_{ст}$ – момент инерции стенки, $см^4$; $I_{ст.тр}$ – требуемый момент инерции балки, $см^4$; $I_{ст} = \delta_{ст}h_{ст}^3/12$; $h_{п}$ – расстояние между центрами масс полок, $см$; $h_{п} = h - \delta_{п}$ (здесь $\delta_{п}$ – ориентировочная толщина полки, $см$; $\delta_{п} = 15...40$ мм, ею задаёмся при условии, что $\delta_{п} \leq 3\delta_{ст}$).

7. Рассчитываем ширину полки, $см$

$$b_{п} = F_{п.тр} / \delta_{п}.$$

8. Проверяем устойчивость полки, ширина её для стали класса С 38/23 должна удовлетворять условию

$$b_{п} \leq 30\delta_{п},$$

при этом рекомендуется выдерживать следующие соотношения:

$$b_{п} = (\sqrt[3]{\dots} \sqrt[5]{\dots})h \text{ и } b_{св} \leq 15\delta_{п} \text{ (здесь } b_{св} \text{ – свободный вес полки, } см; b_{св} = (b_{п} - \delta_{ст})/2 \text{.)}$$

9. Находим фактический момент инерции балки ($см^4$) с учётом принятых размеров

$$I_{\sigma} = \sigma_{ст}h_{ст}^3/12 + 2a^2F_{п},$$

где $h_{ст}$ – уточнённая высота стенки: $h_{ст} = h - 2\delta_{п}$; $a = h_{п}/2$; $F_{п}$ – площадь полки, $см^2$; $F_{п} = b_{п}\delta_{п}$.

10. Подсчитываем фактический момент сопротивления балки, $см^3$

$$W = 2I_{\sigma}/h \geq W_{тр}.$$

В случае, когда $W < W_{тр}$, сечение балки увеличиваем.

11. Проверяем балку с принятым сечением на прочность

$$M/W \leq m \cdot 0,1R,$$

где M – максимальный изгибающий момент, $кН \cdot см$, действующий на балку с учётом момента от собственной массы балки, равного $10gl^2/8$; g – масса одного метра балки, $т$; $g = F_{\sigma}\rho$; F_{σ} – площадь сечения балки, $м^2$; $F_{\sigma} = 2F_{п} + F_{ст} = 2b_{п}\delta_{п} + h_{ст}\delta_{ст}$; ρ – удельная масса стали: $\rho = 7,85$ $т/м^3$.

12. Находим толщину каждого из двух сварных швов ($см$), соединяющих полки со стенкой

$$h_{ш} = T / (2\beta \cdot 0,1R_{y}^{св}),$$

где T – сдвигающее усилие, $кН$, воспринимаемое сварными швами на длине 1 $см$ балки: $T = N_{max}S_{п}/l_{\sigma}$; N_{max} – максимальная реакция на опоре: $N_{max} = P/2$; $S_{п}$ – статический момент пояса относительно нейтральной оси: $S_{п} = F_{п}h_{п}/2$; β – коэффициент, учитывающий глубину провара, $R_{y}^{св} = 150$ МПа (прил. 2).

РАСЧЁТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ И ТАКЕЛАЖНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

При изготовлении различных грузоподъёмных и такелажных приспособлений применяется сварка отдельных деталей и узлов, прочность которых должна быть проверена расчётом. Обычно используются следующие виды соединений: встык, выполняемые стыковыми швами; внахлестку и впритык – с применением стыковых швов. Характер действующих на сварные соединения различен, что определяет способы расчёта. В этом случае рассматриваются расчёты основных видов сварных соединений при действии на них различных по характеру нагрузок.

Сварные соединения встык. Шов прямой, нагрузка осевая (рис. 2). Прочность шва проверяется на растяжение или сжатие по формуле $N/(l_{ш}\delta) \leq mR^{св}k$, где N – расчётное продольное (осевое) усилие, $кН$, с учётом всех нагрузок, действующих на грузоподъёмное приспособление, масс поднимаемых грузов и такелажных приспособлений, усилий оттяжек и расчалок, а также коэффициентов перегрузки $k_{п} = 1,1$ и динамичности $k_{д}$; $l_{ш}$ – расчётная длина шва, $см$ (равна полной проектной длине b за вычетом одного сантиметра с учётом неполноценности начала шва от непровара и конца его – от наличия кратера);

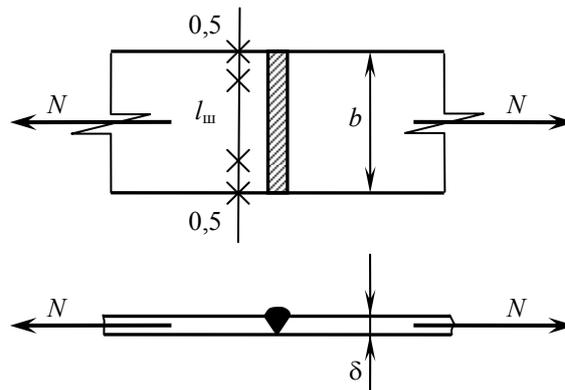


Рис. 2. Расчётная схема сварного шва встык

δ – толщина более тонкого из соединяемых элементов, см; m – коэффициент условий работы: $m=0,85$; R^{cb} – расчётное сопротивление стыкового сварного шва, МПа, растяжению (R_p^{cb}) или (R_c^{cb}), определяемое по прил. 2 для сварных соединений; k – коэффициент, учитывающий процесс выполнения сварки (для швов с подваркой корня $k=1,0$; для швов односторонних без подварок корня $k=0,7$; для швов односторонних на подкладке $k=0,9$).

Пример 1. Проверить на прочность сварной стыковой прямой шов двух планок толщиной $\delta=8$ мм, шириной $b=80$ мм из стали марки Ст3 (класс С38/23) при растягивающем усилии $N=70$ кН. Сварка ручная с подваркой корня $R_p^{cb}=180$ МПа.

Решение. Проверяем сварной шов на прочность:

$$N/l_{ш}\delta \leq mR_p^{cb}k;$$

$$70/(7 \cdot 0,8) = 12,5 \text{ кН/см}^2 = 125 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 180 \cdot 1 = 153 \text{ МПа}.$$

Здесь расчётная длина шва $l_{ш} = b - 1 = 8 - 1 = 7$ см.

Шов косой, нагрузка осевая (рис. 3). Прочность шва проверяем по формулам:
на растяжение

$$N \sin \alpha / (l_{ш}\delta) \leq mR_p^{cb};$$

на срез

$$N \cos \alpha / (l_{ш}\delta) \leq mR_{cp}^{cb}k,$$

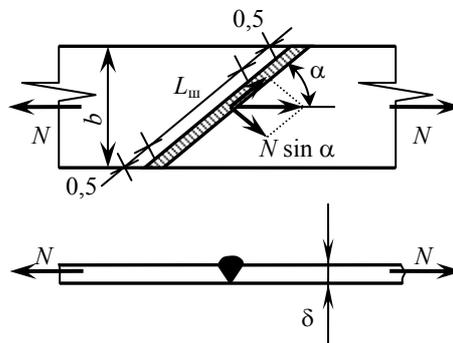


Рис. 3. Расчётная схема сварного косого шва

где α – угол наклона сварного шва к линии действия усилия N ; $l_{ш}$ – расчётная длина шва, см; $l_{ш} = b/\sin \alpha - 1$; R_{cp}^{cb} – расчётное сопротивление стыкового сварного шва, МПа (принимается по прил. 2 для сварных соединений).

Пример 2. Проверить на прочность сварной стыковой косой шов двух планок толщиной $\delta=6$ мм, шириной $b=100$ мм из стали марки Ст3 (класс С38/23) с углом наклона шва $\alpha=60^\circ$ к линии действия растягивающего усилия $N=70$ кН. Сварка ручная без подварки корня $R_{cp}^{cb}=130$ МПа.

Решение.

1. Находим расчётную длину сварного шва

$$l_{ш} = b/\sin \alpha - 1 = 100/0,866 - 1 = 10,5 \text{ см}.$$

2. Проверяем сварной шов на прочность при растяжении:

$$N \sin \alpha / (l_{ш}\delta) \leq mR_p^{cb}k;$$

$$70 \cdot 0,866 / (10,5 \cdot 0,6) = 9,6 \text{ кН/см}^2 = 96 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 180 \cdot 0,7 = 107,1 \text{ МПа}.$$

3. Проверяем сварной шов на прочность при срезе:

$$N \cos \alpha / (l_{ш}\delta) \leq mR_{cp}^{cb}k;$$

$$70 \cdot 0,5 / (10,5 \cdot 0,6) = 5,5 \text{ кН/см}^2 = 55 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 130 \cdot 0,7 = 77,4 \text{ МПа}.$$

РАСЧЁТ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ И ТАКЕЛАЖНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

В соответствии с характером работы болты рассчитываются на срез, смятие или растяжение. Соединения на болтах нормальной точности применяются в тех случаях, когда болты работают на растяжение. При работе на срез соединение выполняется на болтах повышенной точности.

В болтовых соединениях расстояние между центрами болтов должно быть не менее $3d$ (здесь d – диаметр отверстия для болта) и не более $8d$ или 12δ (здесь δ – толщина тонкого наружного элемента). Расстояние от центра до края элемента

принимается минимальным вдоль усилия – $2d$ и поперек усилия – $1,5d$, максимальным – соответственно $4d$ и 8δ .
 Болтовые соединения рассчитываются по формулам:

$$\text{на срез } \frac{N}{n n_{\text{ср}} \pi d^2 / 4} \leq m R_{\text{ср}}^{\sigma};$$

$$\text{на смятие } \frac{N}{n d \sum \delta} \leq m R_{\text{см}}^{\sigma};$$

$$\text{на растяжение } \frac{N}{n F_{\text{нт}}} \leq m R_{\text{р}}^{\sigma},$$

где N – расчётное усилие, кН, с учётом всех нагрузок, действующих на грузоподъемное приспособление (массы поднимаемых грузов и такелажных приспособлений, усилия в оттяжках и расчалках), а также коэффициентов перегрузки $k_{\text{п}}=1,1$ и динамичности $k_{\text{д}}=1,1$; n – число болтов в соединениях, $n_{\text{ср}}$ – число срезов одного болта (рис. 4); d – наружный диаметр стержня болта, см;

Диаметр стержня болта d , мм	12	14	16	20	22	24	27	30	36	42	48
Площадь сечения болта нетто $F_{\text{нт}}$, см ²	0,86	1,18	1,6	2,49	3,08	3,59	4,67	5,69	8,16	11,2	14,7

$\sum \delta$ – наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении, см; $F_{\text{нт}}$ – площадь сечения болта (нетто), определяемая в зависимости от диаметра стержня болта; m – коэффициент условий работы, $m=0,85$; $R_{\text{ср}}^{\sigma}$, $R_{\text{см}}^{\sigma}$, $R_{\text{р}}^{\sigma}$ – расчётные сопротивления болтовых соединений соответственно при срезе, смятии и растяжении, МПа (определяются по прил. 2 для болтовых соединений).

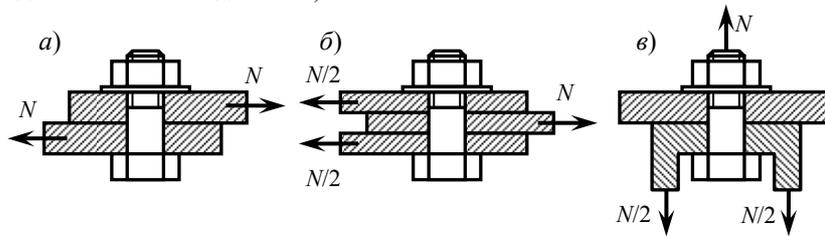


Рис. 4. Работа болта на срез:
 а – односрезный болт; б – двусрезный болт,
 в – болт, работающий на растяжение

Прочность болтовых соединений, работающих одновременно на срез и растяжение, проверяется отдельно на каждый вид напряжения.

Пример 3. Проверить на прочность болтовое соединение двух планок толщиной $\delta = 10$ мм из стали марки Ст3 (класс С38/23). Соединение состоит из четырёх болтов повышенной точности диаметром $d = 12$ мм из стали марки 45 и работает на срез от усилия $N = 70$ кН (рис. 4, а).

Решение.

1. Проверяем прочность болтового соединения на срез:

$$\frac{N}{n n_{\text{ср}} \pi d^2 / 4} \leq m R_{\text{ср}}^{\sigma};$$

$$\frac{70}{4 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 1,2^2 / 4} = 15,5 \text{ кН/см}^2 = 155 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 230 = 195,5 \text{ МПа}.$$

2. Проверяем прочность болтового соединения на смятие:

$$\frac{N}{n d \sum \delta} \leq m R_{\text{см}}^{\sigma};$$

$$\frac{70}{4 \cdot 12 \cdot 1} = 14,6 \text{ кН/см}^2 = 146 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 380 = 323 \text{ МПа}.$$

Пример 4. Проверить на прочность болтовое соединение для крепления подвески к балке траверсы (рис. 4, в), состоящее из четырёх болтов нормальной точности диаметром $d = 14$ мм из стали марки 45 и работает на срез от усилия $N = 90$ кН.

Решение.

Проверяем прочность болтового соединения на растяжение:

$$\frac{N}{n F_{\text{нт}}} \leq m R_{\text{р}}^{\sigma};$$

$$\frac{90}{4 \cdot 1,18} = 19 \text{ кН/см}^2 = 190 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 230 = 195,5 \text{ МПа.}$$

Часто на практике приходится задаваться диаметром болтов и путём расчёта определять их необходимое количество. Эти расчёты выполняют, используя следующие формулы в зависимости от работы соединения:

$$\text{на срез } n \geq \frac{4N}{n_{\text{ср}} \pi d^2 m \cdot 0,1 R_{\text{ср}}^{\sigma}};$$

$$\text{на смятие } n \geq \frac{N}{d \sum \delta m \cdot 0,1 R_{\text{ср}}^{\sigma}};$$

$$\text{на разрыв } n \geq \frac{N}{F_{\text{нт}} m \cdot 0,1 R_{\text{п}}^{\sigma}}.$$

Выполняя последовательно расчёт по вышеуказанным формулам, принимаем наибольшее количество болтов, округляя до ближайшего большего целого числа.

Пример 5. Определить количество болтов повышенной точности из стали марки 45 для крепления к монтажной балке проушины, изготовленной из листовой стали марки Ст3 (класс С38/23) толщиной $\delta = 12$ мм. К проушине приложено усилие $N = 160$ кН, болтовое соединение работает на срез.

Решение. Задавшись диаметром болтов $d = 18$ мм, определяем их необходимое количество в соединении: при работе на срез

$$n = \frac{4N}{n_{\text{ср}} \pi d^2 m \cdot 0,1 R_{\text{ср}}^{\sigma}} = \frac{4 \cdot 160}{1 \cdot 3,14 \cdot 1,8^2 \cdot 0,85 \cdot 0,1 \cdot 230} = 3,2 \text{ шт.};$$

при работе на смятие

$$n = \frac{N}{d \sum \delta m \cdot 0,1 R_{\text{ср}}^{\sigma}} = \frac{160}{1,8 \cdot 1,2 \cdot 0,85 \cdot 0,1 \cdot 380} = 2,3 \text{ шт.}$$

Учитывая наибольшее расчётное количество болтов в соединении и округляя до ближайшего большего целого числа, принимаем $n = 4$ шт.

РАСЧЁТ ПРОУШИН, ПАЛЬЦЕВ И ОСЕЙ ШАРНИРОВ В ТАКЕЛАЖНЫХ И ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

Пальцы для крепления различных элементов такелажной оснастки и оси шарниров грузоподъёмных средств обычно закрепляются в отверстиях проушин. Расчёт пальцев, осей и проушин ведётся с учётом их конструктивных особенностей и вида нагрузок, действующих на них.

Расчёт пальцев и осей шарниров.

1. Находим изгибающий момент в пальце или оси шарнира (кН · см):

– при опирании на две проушины с изгибающим усилием, приложенным посередине их рабочей длины (рис. 5, а)

$$M_{\text{п}} = Nl/4,$$

где N – поперечное изгибающее усилие, действующее на палец или ось, кН; l – рабочая длина пальца или оси (расстояние между проушинами), которой задаемся, см;

– при опирании их на две проушины и равных изгибающих усилиях, приложенных симметрично по рабочей длине пальца и оси шарнира в двух точках (рис. 5, б)

$$M_{\text{п}} = Na/2,$$

где a – расстояние от проушины до точки приложения усилия, которым задаемся, см.

2. Определяем минимальный момент сопротивления поперечного сечения пальца или оси, см³

$$W_{\text{п}} = M_{\text{п}} / (m \cdot 0,1 R),$$

где m – коэффициент условий работы (определяется по прил. 5 в зависимости от назначения грузоподъёмного средства); R – расчётное сопротивление круглой прокатной стали для осей и шарниров, МПа (прил. 2).

3. Подсчитываем диаметр пальца, см

$$d = \sqrt[3]{10W_{\text{п}}}.$$

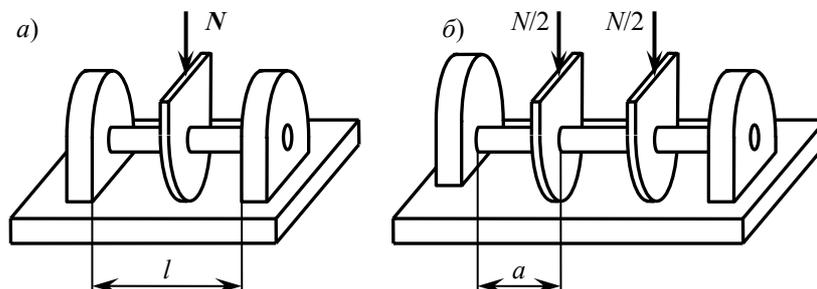


Рис. 5. Расчётные схемы пальцев и осей

4. Проверяем палец или ось на срез

$$\frac{N}{n_{\text{ср}} \pi d^2 / 4} \leq m R_{\text{ср}},$$

где $n_{\text{ср}}$ – число срезов пальца или оси; $R_{\text{ср}}$ – сопротивление срезу (определяется по прил. 2 для круглой прокатной стали для осей и шарниров).

Расчёт проушин. Прουшины обычно выполняются из листового металла и являются опорными конструкциями для пальцев или осей шарниров. Они крепятся на сварке к металлоконструкциям грузоподъёмных средств: мачт, порталов, шевров, монтажных балок, траверс. В отдельных случаях проушины усиливаются односторонними или двусторонними накладками. В зависимости от видов воспринимаемых нагрузок проушины могут работать на изгиб, сжатие или растяжение. Примером проушин первого вида могут служить консоли на оголовках монтажных мачт для крепления полиспастов, а примерами второго и третьего вида – проушины с пальцами для крепления канатных тяг и подвесок траверс, опорные шарниры качающихся мачт, порталов, шевров.

Расчёт проушин выполняется в определённой последовательности.

Прουшины, работающие на изгиб (рис. 6, а).

1. Определяем изгибающий момент в проушине, кН · см

$$M_{\text{пр}} = Na/n,$$

где N – усилие, действующее на проушины, кН; a – рабочая длина проушины, см; n – количество проушин.

2. Находим минимальный момент сопротивления сечения проушины, см³

$$W_{\text{пр}} = M_{\text{пр}} / (m \cdot 0,1R).$$

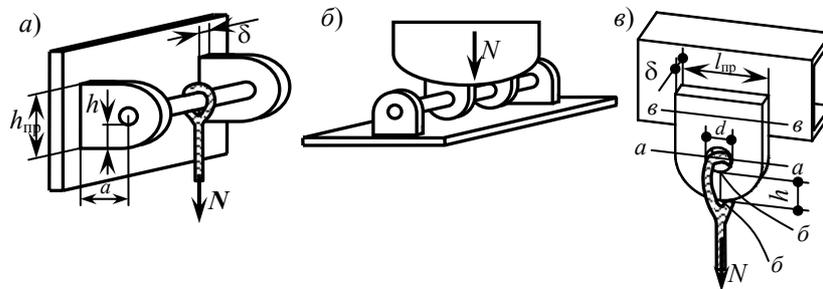


Рис. 6. Расчётные схемы проушин

3. Подсчитываем высоту сечения проушины (см) с учётом её толщины δ

$$h_{\text{пр}} = \sqrt{6W_{\text{пр}} / \delta}.$$

4. Проверяем проушину на срез

$$N / (nh\delta) \leq m R_{\text{ср}},$$

где h – высота проушины от пальца до кромки, см.

5. Проверяем проушину на смятие, зная диаметр пальца d

$$N / (nh\delta) \leq m R_{\text{см. шн}}.$$

6. Рассчитываем прочность сварных швов, крепящих проушину.

Прουшины, работающие на растяжение (рис. 6, в).

1. Проверяем проушину на растяжение в сечениях $a-a$, $\epsilon-\epsilon$, задаваясь основными её размерами и учитывая диаметр каната, пальца или оси шарнира d

$$N / F \leq m R,$$

где N – усилие, действующее на проушину, кН; F – площадь сечения проушины, см²;

сечение $a-a$ $F = (l_{\text{пр}} - d)\delta$;

сечение $\epsilon-\epsilon$ $F = l_{\text{пр}}\delta$;

$l_{\text{пр}}$ – ширина проушины, см; d – диаметр отверстия для каната, пальца или оси шарнира, см; δ – толщина проушины, см.

2. Проверяем проушину на срез в сечении $б-б$

$$N / F \leq m R_{\text{ср}},$$

где $F = h\delta$; h – расстояние от отверстия в проушине до её кромки, см.

3. Проверяем проушину на смятие

$$N / (d\delta) \leq m R_{\text{см. шн}},$$

где d – диаметр каната, пальца или оси шарнира, см.

4. Рассчитываем прочность сварных швов, крепящих проушину.

Проушины, работающие на сжатие (рис. 6, б).

Проушины этого типа проверяются только на смятие аналогично проушинам, работающим на растяжение, и рассчитываем сварные швы их крепления.

Пример 6. Рассчитать палец и проушины для консольной подвески полиспаста на монтажной мачте. Усилие от полиспаста на палец $N = 140$ кН, рабочая длина консоли $a = 300$ мм.

Решение.

Расчёт пальца (рис. 5, а).

1. Определяем изгибающий момент в пальце, принимая его рабочую длину $l = 240$ мм

$$M_{\text{п}} = Nl/4 = 140 \cdot 24/4 = 840 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

2. Находим минимальный момент сопротивления сечения пальца, изготовленного из стали марки Ст5

$$W_{\text{п}} = M_{\text{п}} / (m \cdot 0,1R) = 840 / (0,9 \cdot 0,1 \cdot 230) = 40,5 \text{ см}^3.$$

3. Подсчитываем диаметр пальца

$$d = \sqrt[3]{10W_{\text{п}}} = \sqrt[3]{10 \cdot 40,5} = 7,4 \text{ см}.$$

4. Проверяем палец на срез

$$\frac{N}{n_{\text{ср}} \pi d^2 / 4} \leq mR_{\text{ср}};$$

$$\frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,4^2 / 4} = 1,6 \text{ кН/см}^2 = 16 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 140 = 126 \text{ МПа}.$$

Расчёт проушин (рис. 6, а).

1. Определяем изгибающий момент в проушине

$$M_{\text{пр}} = Na/n = 140 \cdot 30/2 = 2100 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

2. Находим минимальный момент сопротивления сечения проушины, изготовленной из стали Ст3

$$W_{\text{пр}} = M_{\text{пр}} / (m \cdot 0,1R) = 2100 / (0,9 \cdot 0,1 \cdot 210) = 111 \text{ см}^3.$$

3. Подсчитываем высоту сечения проушины (см), задаваясь её толщиной $\delta = 12$ мм

$$h_{\text{пр}} = \sqrt{6W_{\text{пр}} / \delta} = \sqrt{6 \cdot 111 / 1,2} = 23,6 \text{ см}.$$

Принимаем $h_{\text{пр}} = 26$ см.

4. Проверяем проушину на срез:

$$N / (nh\delta) \leq mR_{\text{ср}};$$

$$140 / (2 \cdot 9,3 \cdot 1,2) = 6,2 \text{ кН/см}^2 = 62 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 130 = 117 \text{ МПа},$$

где $h = (h_{\text{пр}} - d) / 2 = (26 - 7,4) / 2 = 9,3$ см.

5. Проверяем проушину на смятие:

$$N / (nh\delta) \leq mR_{\text{см.шн}};$$

$$140 / (2 \cdot 7,4 \cdot 1,2) = 7,9 \text{ кН/см}^2 = 79 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 160 = 144 \text{ МПа}.$$

6. Рассчитываем прочность сварных швов, крепящих проушину к мачте впритык и работающих на поперечный изгиб от усилия $N_{\text{пр}} = N/2 = 140/2 = 70$ кН.

$$\sqrt{\left(\frac{N_{\text{пр}}}{\beta h_{\text{ш}} 2l_{\text{ш}}}\right)^2 + \left(\frac{6M_{\text{пр}}}{\beta h_{\text{ш}} 2l_{\text{ш}}^2}\right)^2} \leq mR_y^{\text{св}};$$

$$\sqrt{\left(\frac{70}{0,7 \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot 25}\right)^2 + \left(\frac{6 \cdot 2100}{0,7 \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot 25^2}\right)^2} = 12,1 \text{ кН/см}^2 =$$

$$121 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 150 = 127,5 \text{ МПа},$$

где $l_{\text{ш}} = h_{\text{пр}} - 1 = 26 - 1 = 25$ см.

РАСЧЁТ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

Для выполнения такелажных работ, связанных с монтажом различного технологического оборудования и конструкций, применяются стальные канаты. Они используются для изготовления стропов и грузовых подвесок, в качестве расчалок, оттяжек и тяг, а также для оснастки полиспастов, лебёдок и монтажных кранов.

В зависимости от назначения применяются канаты следующих типов:

– для стропов, грузовых подвесок и оснастки полиспастов, лебёдок, кранов – более гибкие канаты типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80); в качестве замены могут быть использованы канаты типа ТЛК-О конструкции $6 \times 37(1 + 6 + 15 + 15) + 1$ о.с. (ГОСТ 3079–80);

– для расчалок, оттяжек и тяг – более жёсткие канаты типа ЛК-Р конструкции $6 \times 19(1 + 6 + 6/6) + 1$ о.с. (ГОСТ 2688–80). Технические данные рекомендуемых типов канатов приведены в прил. 4.

Расчёт стальных канатов выполняется в следующей последовательности.

1. Определяется разрывное усилие каната, кН

$$R_k = Sk_3,$$

где S – максимальное расчётное усилие в канате, кН; k_3 – коэффициент запаса (прил. 3).

2. В зависимости от назначения выбираем более гибкий (6×36) или более жёсткий (6×19) канат и по таблице ГОСТ (прил. 4) устанавливаем его характеристику: тип, конструкцию, временное сопротивление разрыву, разрывное усилие (не менее расчётного), диаметр и массу.

Пример 7. Подобрать и рассчитать стальной канат для электролебёдки с тяговым усилием $S = 100$ кН.

Решение.

1. Подсчитываем разрывное усилие в канате, определив по прил. 3 коэффициент запаса прочности $k_3 = 5$ для грузового каната с лёгким режимом работы

$$R_k = Sk_3 = 100 \cdot 5 = 500 \text{ кН.}$$

2. Выбираем для лебёдки гибкий канат типа ЛК-РО $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80) и по таблице ГОСТ (прил. 4) определяем его характеристики:

временное сопротивление разрыву, МПа	1764
разрывное усилие, кН	517
диаметр каната, мм	31
масса 1000 м каната, кг	3655

РАСЧЁТ КАНАТНЫХ СТРОПОВ

Стропы из стальных канатов применяются для соединения монтажных полиспастов с подъёмно-транспортными средствами (мачтами, порталами, шеврами, стрелами, монтажными балками), якорями и строительными конструкциями, а также для строповки поднимаемого или перемещаемого оборудования и конструкций с подъёмно-транспортными механизмами.

В практике монтажа используются следующие типы канатных стропов: обычные, к которым относятся универсальные и одно-, двух-, трёх- и четырёхветвевые, закрепляемые на поднимаемом оборудовании обвязкой или инвентарными захватами, а также витые полотенчатые.

Для строповки тяжеловесного оборудования преимущественно используются инвентарные витые стропы, выполняемые в виде замкнутой петли путём последовательной параллельной плотной укладки перевитых между собой витков каната вокруг начального центрального витка. Эти стропы имеют ряд преимуществ: равномерность распределения нагрузки на все ветви, сокращение расхода каната, меньшая трудоёмкость строповки. Технические данные рекомендуемых типов канатов приведены в прил. 4.

Канатные стропы рассчитываются в следующем порядке (рис. 7).

1. Определяем напряжение в одной ветви стропа, кН

$$S = P/(m \cos \alpha),$$

где P – расчётное усилие, приложенное к стропу, без учёта коэффициентов перегрузки и динамичности, кН; m – общее количество ветвей стропа; α – угол между направлением действия расчётного усилия и ветвью стропа, которым задаётся исходя из поперечных размеров поднимаемого оборудования и способа строповки (этот угол рекомендуется назначать не более 45° , имея в виду, что с увеличением его усилие в ветви стропа резко возрастает).

2. Находим разрывное усилие в ветви стропа, кН

$$R_k = Sk_3,$$

где k_3 – коэффициент запаса прочности для стропа в зависимости от типа стропа (прил. 3).

3. По расчётному разрывному усилию, пользуясь таблицей ГОСТ (прил. 4), подбираем наиболее гибкий стальной канат и определяем его технические данные: тип и конструкцию, временное сопротивление разрыву, разрывное усилие и диаметр.

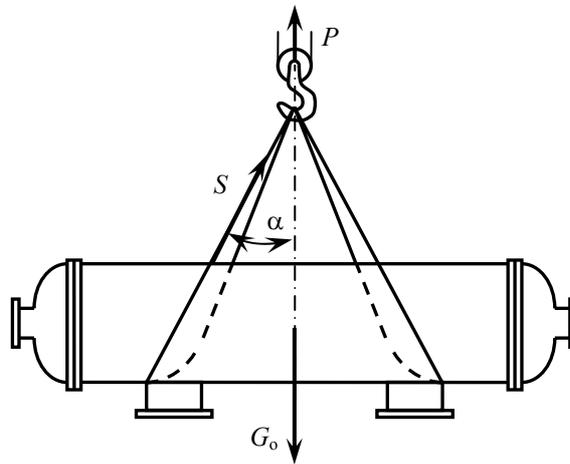


Рис. 7. Расчётная схема канатного стропа

Пример 8. Рассчитать стальной канат для стропа, применяемого при подъёме горизонтального цилиндрического теплообменного аппарата массой $G_0 = 15$ т (рис. 7).

Решение.

1. Определить натяжение в одной ветви стропа, задаваясь общим количеством ветвей $m = 4$ и углом наклона их $\alpha = 45^\circ$ к направлению действия расчётного усилия P

$$S = P / (m \cos \alpha) = 10 G_0 / (m \cos \alpha) = 10 \cdot 15 / (4 \cdot 0,707) = 53 \text{ кН.}$$

2. Находим разрывное усилие в ветви стропа

$$R_k = S k_3 = 53 \cdot 6 = 318 \text{ кН.}$$

3. По найденному разрывному усилию, пользуясь прил. 4, подбираем канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80) с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа	1960
разрывное усилие, кН	338
диаметр каната, мм	23,5
масса 1000 м каната, кг	2130

РАСЧЁТ ТРАВЕРС

В практике монтажа оборудования применяются траверсы двух типов – работающих на изгиб и на сжатие. Первые конструктивно более тяжелые, но обладают значительно меньшими высотными габаритами, что имеет существенное значение при подъёме оборудования в помещениях с ограниченной высотой, а также при недостаточных высотах подъёма крюка грузоподъёмного механизма. Траверсы при подъёме груза могут работать как на изгиб, так и на сжатие.

Расчёт траверс, работающих на изгиб (рис. 8).

1. Подсчитываем нагрузку, действующую на траверсу, кН

$$P = 10 G_0 k_n k_d,$$

где G_0 – масса поднимаемого груза, т.

2. Определяем изгибающий момент в траверсе, кН · см

$$M = P a / 2,$$

где a – длина плеча траверсы, см.

3. Вычисляем требуемый момент сопротивления поперечного сечения траверсы, см^3

$$W_{\text{тр}} = M / (m \cdot 0,1R),$$

где m и R подбираются из прил. 2 и 5.

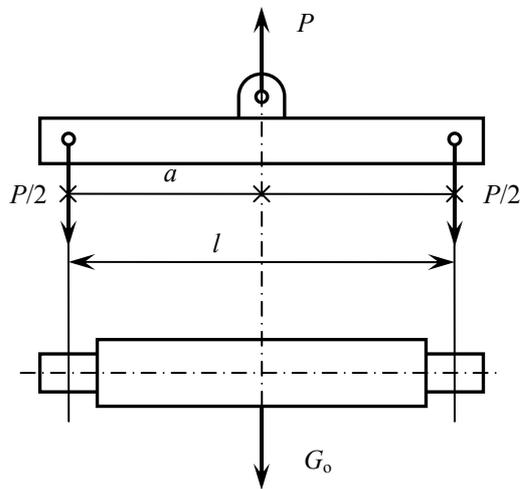


Рис. 8. Расчётная схема траверсы, работающей на изгиб

4. Выбираем для траверсы сплошного сечения одиночный швеллер, двутавр или стальную трубу и по прил. 6, 7, 11 определяем момент сопротивления W_x ближайший больший к $W_{тр}$. В случае невозможности изготовления траверсы сплошного сечения при больших значениях $W_{тр}$ балки траверсы изготавливаются либо сквозного сечения из парных швеллеров или двутавров, а также из труб, усиленных элементами жёсткости, либо, наконец, решётчатой конструкции.

5. Расчёты отдельных узлов и деталей траверс (такелажных скоб, проушин, пальцев, сварных и болтовых соединений, канатных подвесок) частично рассмотрены и будут рассматриваться в дальнейшем.

Пример 9. Подобрать и рассчитать сечение балки траверсы, работающей на изгиб, для подъёма ротора турбины массой $G_0 = 24$ т с расстоянием между канатными подвесками $l = 4$ м (рис. 8).

Решение.

1. Подсчитываем нагрузку, действующую на траверсу

$$P = 10G_0 k_n k_d = 10 \cdot 24 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 290 \text{ кН.}$$

2. Определяем изгибающий момент в траверсе

$$M = P a / 2 = 290 \cdot 200 / 2 = 29000 \text{ кН} \cdot \text{см,}$$

3. Вычисляем требуемый момент сопротивления поперечного сечения траверсы

$$W_{тр} = M / (m \cdot 0,1R) = 29000 / (0,85 \cdot 0,1 \cdot 210) = 1624 \text{ см}^3.$$

4. Выбираем по табличным данным конструкцию балки траверсы сквозного сечения, состоящую из двух двутавров, соединённых стальными мостиками на сварке.

5. Подбираем по таблице ГОСТ (прил. 6) два двутавра № 40 с $W_x^д = 953 \text{ см}^3$, определяем момент сопротивления сечения траверсы в целом

$$W_x = 2W_x^д = 2 \cdot 953 = 1906 \text{ см}^3 > W_{тр} = 1624 \text{ см}^3,$$

что удовлетворяет условию прочности расчётного сечения траверсы.

РАСЧЁТ ТАКЕЛАЖНЫХ СКОБ

Такелажные скобы применяются как соединительные элементы отдельных звеньев различных грузозахватных устройств или как самостоятельные захватные приспособления.

Зная нагрузку, действующую на скобу, задавшись размерами элементов, проверить её на прочность. Этот расчёт выполняется в следующем порядке (рис. 9).

1. Находим усилие, действующее на скобу, кН

$$P = S k_n k_d,$$

где S – нагрузка, действующая на скобу, кН (например, масса поднимаемого груза, натяжение каната и т.п.);

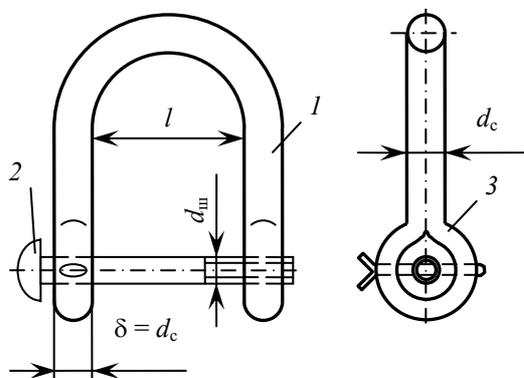


Рис. 9. Скоба такелажная:
l – ветвь скобы; 2 – штырь; 3 – бобышка

2. Проверяем ветви скобы выбранного типоразмера (табл. 1) на прочность при растяжении

$$P/(2F_c) \leq mR,$$

где F_c – площадь сечения ветви скобы, см² (определяется исходя из размеров диаметра ветви скобы d_c , выбранного по табл. 1).

3. Определим изгибающий момент в штыре, кН · см

$$M = Pl/4,$$

где l – длина штыря между ветвями скобы (табл. 1).

4. Находим момент сопротивления сечения штыря, см³

$$W = 0,1d_{ш}^3,$$

где $d_{ш}$ – диаметр штыря (табл. 1).

1. Скобы такелажные

Типоразмер скобы	Допустимая нагрузка, кН	Диаметр стального каната, мм	Свободная длина штыря, мм	Диаметр ветви скобы $d_0 = \delta$, мм	Диаметр штыря $d_{ш}$, мм
1,2	12	11,0	28	14	18
1,7	17	13,0	32	16	20
2,1	21	15,5	36	20	24
2,7	27	17,5	40	22	27
3,5	35	19,5	45	24	33
4,5	45	22,5	50	28	36
6,0	60	26	58	32	39
7,5	75	28,5	64	36	45
9,5	95	30,5	70	40	48
11,0	110	35,0	80	45	56
14,0	140	39,0	90	48	60
17,0	170	43,5	100	50	64
21,0	210	48,5	110	60	72
24,0	240	52,0	115	65	76
28,0	280	56,5	120	70	85
32,0	320	60,5	125	75	90
37,0	370	65,0	130	80	95

5. Проверяем штырь скобы на прочность при изгибе

$$M/W \leq mR.$$

6. Проверяем штырь скобы на срез

$$P/(2F_{ш}) \leq mR_{ср},$$

где $F_{ш}$ – площадь сечения штыря, см² (определяется исходя из размеров диаметра штыря).

7. Проверяем отверстия скобы на смятие

$$P/(2\delta d_{ш}) \leq mR_{см},$$

где δ – толщина бобышки скобы для штыря, см (соответствует диаметру ветви скобы d_c).

Пример 10. Подобрать и проверить на прочность такелажную скобу для каната с натяжением $S = 80$ кН (рис. 9).

Решение.

1. Находим усилие, действующее на скобу

$$P = Sk_{\pi}k_d = 80 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 96,8 \text{ кН.}$$

2. Зная усилие, по табл. 1 выбираем такелажную скобу типоразмера 11 со следующими характеристиками: свободная длина штыря $l = 80$ мм, диаметр ветви скобы $d_0 = \delta = 45$ мм, диаметр штыря $d_{\text{ш}} = 56$ мм.

3. Проверяем ветви скобы на прочность при растяжении:

$$P/(2F_c) \leq mR;$$

$$96,8/(2 \cdot 15,9) = 3 \text{ кН/см}^2 = 30 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 210 = 178,5 \text{ МПа,}$$

где $F_c = \pi d_c^2/4 = 3,14 \cdot 4,5^2/4 = 15,9 \text{ см}^2$.

4. Определяем изгибающий момент в штыре

$$M = Pl/4 = 96,8 \cdot 8/4 = 193,6 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

5. Находим момент сопротивления сечения штыря

$$W = 0,1d_{\text{ш}}^3 = 0,1 \cdot 5,6^3 = 17,6 \text{ см}^3.$$

6. Проверяем штырь скобы на прочность при изгибе:

$$M/W \leq mR;$$

$$193,6/17,6 = 11 \text{ кН/см}^2 = 110 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 210 = 178,5 \text{ МПа.}$$

7. Проверяем штырь на срез:

$$P/(2F_{\text{ш}}) \leq mR_{\text{ср}};$$

$$96,8/(2 \cdot 24,6) = 1,97 \text{ кН/см}^2 = 19,7 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 130 = 110,5 \text{ МПа.}$$

где $F_{\text{ш}} = \pi d^2/4 = 3,14 \cdot 5,6^2/4 = 24,6 \text{ см}^2$.

8. Проверяем отверстия скобы на смятие:

$$P/(2\delta d_{\text{ш}}) \leq mR_{\text{см}};$$

$$96,8/(2 \cdot 4,5 \cdot 5,6) = 1,92 \text{ кН/см}^2 = 19,2 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 170 = 144,5 \text{ МПа.}$$

РАСЧЁТ МОНТАЖНЫХ ШТУЦЕРОВ

Для строповки вертикальных цилиндрических аппаратов при их подъёме и установке на фундаменте часто применяются монтажные (ложные) штуцера. Они представляют собой стальные патрубки различных сечений, привариваемые торцом в виде консоли к корпусу аппарата на его образующей по диаметрали. Для увеличения жёсткости внутри штуцера могут быть вварены ребра из листовой стали; для устранения трения между стропом и штуцером при наклонах аппарата на штуцер надевается свободный патрубок большего диаметра; для предохранения стропа от соскальзывания к внешнему торцу штуцера приваривается ограничительный фланец.

Расчёт монтажного штуцера ведется следующим образом (рис. 10, а).

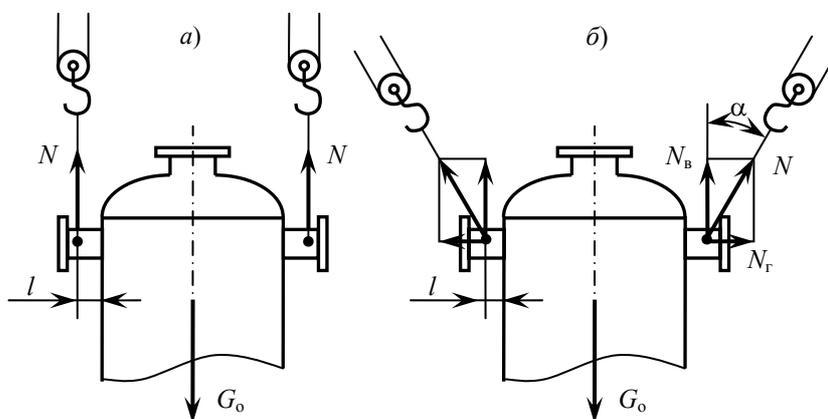


Рис. 10. Расчётные схемы монтажных штуцеров

1. Находим усилие от стропа, действующее на каждый монтажный штуцер, кН

$$N = 10G_0k_{\pi}k_dk_n/2,$$

где G_0 – масса поднимаемого оборудования, т.

2. Определяем величину момента (кН · см) от усилия в стропе, действующего на штуцер

$$M = Nl,$$

где l – расстояние от линии действия усилия N до стенки аппарата, см.

3. При известном сечении штуцера проверяют его прочность на изгиб (для упрощения расчёта наличие рёбер жёсткости в штуцере не учитывается)

$$M/W \leq mR,$$

где W – момент сопротивления сечения штуцера, см³ (определяется по прил. 7 для стальных труб).

Если необходимо определить сечение штуцера, удовлетворяющее условиям прочности, то подсчитывают минимальный момент сопротивления его поперечного сечения, см³

$$W = M/(m \cdot 0,1R)$$

и, пользуясь прил. 7 для стальных труб, находят сечение штуцера с моментом сопротивления, ближайшим к расчётному.

4. Проверяем прочность сварного кольцевого шва, крепящего монтажный штуцер к аппарату

$$M/(\beta h_{\text{ш}} \pi r^2) \leq mR_y^{\text{св}},$$

где β – коэффициент, учитывающий глубину провара (для ручной сварки $\beta = 0,7$); r – радиус штуцера, см; $h_{\text{ш}}$ – толщина шва, см; по ГОСТ 14114–85 величина $h_{\text{ш}}$ зависит от усилия на штуцер:

N , кН	до 400	500...2500	2800...3200
$h_{\text{ш}}$, мм	12	14	16

В том случае, если строп идёт под углом к вертикали (рис. 10, б), то прочность сварного шва проверяют по формуле

$$N_r / (\beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}) + M / (\beta h_{\text{ш}} \pi r^2) \leq mR_y^{\text{св}},$$

где N_r – горизонтальная составляющая усилия N , кН, в стропе: $N_r = N \sin \alpha$.

Пример 11. Рассчитать монтажные штуцера для подъёма аппарата колонного типа массой $G_0 = 80$ т с помощью двух кранов способом скольжения с отрывом от земли без применения балансирной траверсы.

Решение.

1. Находим усилие от стропа, действующее на каждый монтажный штуцер при полностью поднятом над землей аппаратом

$$N = 10G_0 k_{\text{п}} k_{\text{д}} k_{\text{н}} / 2 = 10 \cdot 80 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 / 2 = 581 \text{ кН.}$$

2. Определяем величину момента, действующего на штуцер, принимая $l = 12$ см

$$M = Nl = 581 \cdot 12 = 6972 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

3. Подсчитываем минимальный момент сопротивления поперечного сечения стального патрубка для штуцера

$$W_{\text{min}} = M / (m \cdot 0,1R) = 6972 / (0,85 \cdot 0,1 \cdot 210) = 391 \text{ см}^3.$$

4. По таблицам ГОСТ (прил. 7) определяем с запасом сечение патрубка для монтажного штуцера размером 273/12 мм с моментом сопротивления

$$W^T = 615 \text{ см}^3 > W_{\text{min}} = 391 \text{ см}^3.$$

5. Проверяем на прочность сварной кольцевой шов крепления штуцера к корпусу аппарата:

$$M / (\beta h_{\text{ш}} \pi r^2) \leq mR_y^{\text{св}},$$

$$\begin{aligned} 6972 / (0,7 \cdot 1,4 \cdot 3,14 \cdot 13,7^2) &= 12,1 \text{ кН/см}^2 = \\ &= 121 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 150 = 127,5 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

РАСЧЁТ И ПОДБОР ОТВОДНЫХ БЛОКОВ

Отводные однорольные блоки (рис. 11) предназначены для изменения направления канатов, рассчитываются и выбираются в следующем порядке.

1. Определяют усилия, действующие на отводной блок, кН

$$P = Sk_0,$$

где S – усилие, действующее на канат, проходящий через ролик блока, кН; k_0 – коэффициент, зависящий от угла α между ветвями каната:

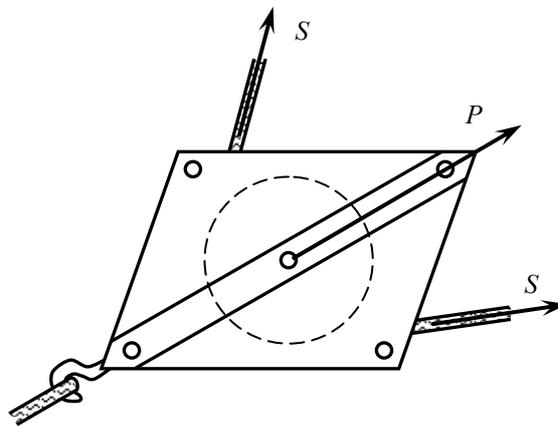


Рис. 11. Расчётная схема отводного блока

α , град.	0	30	45	60	90	120	150	180
k_0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,4	1,0	0,8	0,0

- По найденному усилию P подбираем блок, пользуясь прил. 8.
- Рассчитываем канат для закрепления отводного блока. Для этого по нагрузке P определяем разрывное усилие и подбираем канат по прил. 4.

Пример 12. Рассчитать и подобрать отводной блок для грузового каната с натяжением $S = 55$ кН и углом охвата ролика блока $\alpha = 60^\circ$ (рис. 11).

Решение.

- Определяем усилие, действующее на отводной блок

$$P = Sk_0 = 55 \cdot 1,7 = 93,5 \text{ кН.}$$

- По найденному усилию P , пользуясь прил. 8, подбираем 10-тонный блок с диаметром ролика 300 мм.
- Взяв канат для крепления блока вдвойне и определив по прил. 3 коэффициент запаса прочности $k_3 = 6$, как для стропа, находим разрывное усилие в каждой из двух ветвей каната

$$R_k = Pk_3/2 = 93,5 \cdot 6/2 = 280,5 \text{ кН.}$$

- По расчётному разрывному усилию, пользуясь таблицей ГОСТ (прил. 4), подбираем для крепления отводного блока стальной канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80) с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа	1960
разрывное усилие, кН	280,5
диаметр каната, мм	22
масса 1000 м каната, кг	1830

РАСЧЁТ И ПОДБОР ПОЛИСПАСТОВ

Полиспаст является простейшим грузоподъёмным устройством, состоящим из двух блоков, оснащённых стальным канатом, начальный конец которого закрепляется к одному из блоков, другой конец каната, проходя последовательно через ролики блоков в виде сбегающей ветви, идёт на барабан лебёдки.

Принцип расчёта полиспаста сводится к подсчёту усилий на блоки полиспаста (по ним находят технические характеристики блоков); расчёту каната для оснастки полиспаста с определением технических данных и длины каната; подбору тягового механизма.

При расчёте необходимо принимать во внимание назначение полиспаста (подъём грузов или натяжение канатов) и направление сбегающей ветви (с подвижного или неподвижного блоков).

Расчёт полиспаста ведётся в следующем порядке.

- Определяем усилие, действующее на крюке подвижного блока полиспаста, кН:
 - при подъёме груза (рис. 12)

$$P_n = 10G_0 + 10G_3,$$

где G_0 – масса поднимаемого груза, т; G_3 – масса захватного устройства (траверсы), т;

- при работе полиспаста в горизонтальном или наклонном положении (рис. 13)

$$P_n = P_p,$$

где P_p – расчётное усилие, действующее на полиспаст при натяжении грузовых и тяговых канатов, оттяжек и вант, кН.

- Находим усилие, действующее на неподвижный блок полиспаста, кН:
 - при направлении сбегающей ветви с неподвижного блока (рис 12, а; 13, а)

$$P_n = (1,07 \dots 1,2)P_n,$$

где величина коэффициента, учитывающего дополнительную нагрузку от усилия в сбегающей ветви полиспаста и масс подвижного блока и рабочих нитей полиспаста, назначается, исходя из следующих данных:

Грузоподъёмность полиспаста, т	До 30	От 30 до 50	От 50 до 200	Более 200
--------------------------------	-------	-------------	--------------	-----------

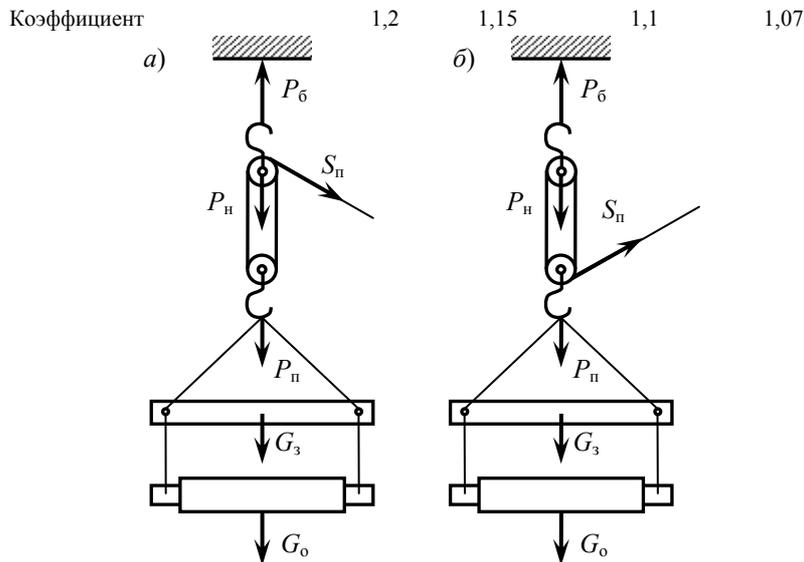


Рис. 12. Расчётные схемы полиспастов, расположенных вертикально

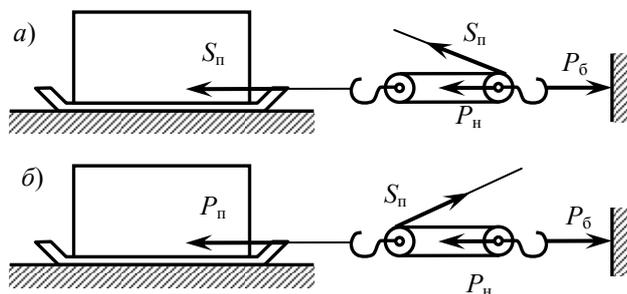


Рис. 13. Расчётные схемы полиспастов, расположенных горизонтально

– при направлении сбегающей ветви с подвижного блока (рис. 12, б; 13, б)

$$P_n = P_n - S_n,$$

где S_n – усилие в сбегающей ветви полиспаста, кН; назначается ориентировочно в зависимости от грузоподъёмности полиспаста:

до 50 т $S_n = 0,15P_n$;

от 50 до 150 т $S_n = 0,1P_n$;

более 150 т $S_n = 0,08P_n$.

3. Исходя из усилий P_n и P_n , подбираем подвижный и неподвижный блоки, определяя по прил. 8 их технические данные: грузоподъёмность, количество и диаметр роликов, массу, а также длину полиспаста в стянутом виде.

Практически можно взять оба блока с одинаковыми характеристиками, подобрать их по наибольшему усилию.

4. Находим усилие в сбегающей ветви полиспаста, являющееся наибольшим, кН

$$S_n = P_n / (m_n \eta),$$

где m_n – общее количество роликов в полиспасте без учёта отводных блоков; η – коэффициент полезного действия полиспаста, учитывающий потери на трение роликов на осях и сопротивление от жёсткости каната при огибании им роликов; коэффициент зависит от общего количества роликов (с учётом отводных), а также типа подшипников роликов и определяем по табл. 2.

5. Определяем разрывное усилие (кН) в сбегающей ветви полиспаста, по которому подбирают канат для его оснастки.

6. Подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста, м

$$L = m_n (h + 3,14d_p) + l_1 + l_2,$$

где h – длина полиспаста в полностью растянутом виде, м (назначают исходя из конкретных условий такелажной операции: она соответствует наибольшему расстоянию между неподвижным и подвижным блоками в начальный момент этой операции перед сокращением полиспаста); d_p – диаметр роликов в блоках, м (определяется по прил. 8); l_1 – длина сбегающей ветви от ролика блока, с которого она сходит, до барабана лебёдки, м; l_2 – расчётный запас длины каната, $l_2 = 10$ м.

7. Подсчитываем суммарную массу полиспаста, т

$$G_n = G_6 + G_k,$$

где G_0 – масса обоих блоков полиспаста, т (определяется по прил. 8); G_k – масса каната для оснастки полиспаста, т; $G_k = Lg_k/1000$; g_k – масса 1000 м каната (находят по прил. 4).

8. Определяем усилие, действующее на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста, кН:

– при подъёме груза со сбегающей ветвью, сходящей с неподвижного блока (рис. 12, а),

$$P_0 = 10G_0 + 10G_3 + 10G_{\Pi} + S_{\Pi};$$

2. Значение коэффициента полезного действия полиспаста η

Общее количество роликов полиспастов	Тип подшипника		Общее количество роликов полиспастов	Тип подшипника	
	скольжения	качения		скольжения	качения
1	0,960	0,980	16	0,521	0,722
2	0,922	0,960	17	0,500	0,708
3	0,886	0,940	18	0,480	0,693
4	0,851	0,921	19	0,480	0,680
5	0,817	0,903	20	0,442	0,667
6	0,783	0,884	21	0,424	0,653
7	0,752	0,866	22	0,407	0,640
8	0,722	0,840	23	0,390	0,628
9	0,693	0,832	24	0,375	0,615
10	0,664	0,814	25	0,360	0,604
11	0,638	0,800	26	0,347	0,593
12	0,613	0,783	27	0,332	0,581
13	0,589	0,767	28	0,318	0,569
14	0,506	0,752	29	0,306	0,558
15	0,543	0,736	30	0,293	0,547

– при подъёме груза со сбегающей ветвью, сходящей с подвижного блока (рис. 12, б),

$$P_0 = 10G_0 + 10G_3 + 10G_{\Pi} - S_{\Pi};$$

– при горизонтальном или наклонном положении полиспаста со сбегающей ветвью, сходящей с неподвижного блока (рис. 13, а),

$$P_0 = P_p + 10G_{\Pi} + S_{\Pi};$$

– при горизонтальном или наклонном положении полиспаста со сбегающей ветвью, сходящей с неподвижного блока (рис. 13, б),

$$P_0 = P_p + 10G_{\Pi} - S_{\Pi}.$$

9. По усилию P_0 рассчитываем канат для крепления неподвижного блока полиспаста.

10. По усилию в сбегающей ветви полиспаста S_{Π} подбираем тяговый механизм – лебёдку (прил. 9).

Пример 13. Рассчитать и подобрать полиспаст для подъёма горизонтального цилиндрического аппарата массой 70 т с помощью траверсы массой $G_3 = 1$ т на высоту 12 м (рис. 12, а).

Решение.

1. Подсчитываем усилие, действующее на подвижный блок полиспаста

$$P_{\Pi} = 10G_0 + 10G_3 = 10 \cdot 70 + 10 \cdot 1 = 710 \text{ кН.}$$

2. Находим усилие, действующее на неподвижный блок полиспаста

$$P_0 = 1,1P_{\Pi} = 1,1 \cdot 710 = 871 \text{ кН.}$$

3. Используя прил. 8, подбираем оба блока по наибольшему усилию P_0 со следующими характеристиками: грузоподъёмность – 100 т, количество роликов – 5 шт. диаметром 700 мм, масса – 1605 кг. Таким образом, в полиспасте, состоящем из двух блоков, общее количество роликов $m_{\Pi} = 5 \cdot 2 = 10$ шт., масса $G_0 = 1605 \cdot 2 = 3210$ кг.

4. Выбирая блоки с роликами на подшипниках качения и принимая два отводных блока, установленных на сбегающей ветви до лебёдки по табл. 2 находим коэффициент полезного действия полиспаста $\eta = 0,783$ для общего количества роликов 12 шт. (10 полиспаста и 2 отводных) и рассчитываем усилие в сбегающей ветви

$$S_{\Pi} = P_{\Pi} / (m_{\Pi} \eta) = 710 / (10 \cdot 0,783) = 91 \text{ кН.}$$

5. Находим разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста

$$R_k = S_{\Pi} k_3 = 91 \cdot 4 = 364 \text{ кН,}$$

где k_3 – коэффициент запаса прочности при D/d от 13 до 16.

6. По таблице ГОСТ (прил. 4) подбираем для оснастки полиспаста канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80) с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа	1764
разрывное усилие, кН	396,5
диаметр каната, мм	27
масса 1000 м каната, кг	2800

7. Подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста, задаваясь длиной сбегающей ветви $l_1 = 25$ м и считая длину полиспаста в растянутом виде, равной высоте подъёма аппарата $h = 12$ м

$$L = m_n(h + 3,14d_p) + l_1 + l_2 = 10(12 + 3,14 \cdot 0,7) + 25 + 10 = 177 \text{ м.}$$

8. Находим суммарную массу полиспаста

$$G_n = G_0 + G_k = G_0 + Lg_k/1000 = 3200 + 177 \cdot 2800/1000 = 3700 \text{ кг.}$$

9. Определяем усилие на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста

$$P_0 = 10G_0 + 10G_3 + 10G_n + S_n = 10 \cdot 70 + 10 \cdot 1 + 10 \cdot 3,7 + 91 = 838 \text{ кН.}$$

10. Приняв канат для крепления верхнего блока полиспаста из 8 ветвей и определив по прил. 3 коэффициент запаса прочности $k_3 = 6$, как для стропа, подсчитываем разрывное усилие в каждой ветви крепящего каната

$$R_k = P_0 k_3 / 8 = 838 \cdot 6 / 8 = 628,5 \text{ кН.}$$

11. По таблице ГОСТ (прил. 4) подбираем канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80), закрепляющий верхний неподвижный блок полиспаста с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа	1960
разрывное усилие, кН	638,5
диаметр каната, мм	33
масса 1000 м каната, кг	4155

12. По усилию в сбегающей ветви полиспаста по прил. 9 подбираем электролебёдку типа ЛМЭ-10-510 с тяговым усилием 100 кН и канатоёмкостью 510 м.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИМЕНЬШИХ ДОПУСТИМЫХ ДИАМЕТРОВ РОЛИКОВ И БАРАБАНОВ ЛЕБЁДОК

При огибании канатом барабана или ролика за наименьший диаметр каната принимается такой, при котором работа на изгиб практически отсутствует, мм

$$D \geq dl,$$

где d – диаметр каната, мм; l – коэффициент, зависящий от типа механизма и режима его работы (табл. 3).

Пример 14. Определить наименьший допустимый диаметр ролика отводного блока для каната диаметром $d = 15$ мм от электролебёдки с лёгким режимом работы.

Решение.

1. Находим наименьший допустимый диаметр ролика отводного блока

$$D = dl = 15 \cdot 20 = 300 \text{ мм.}$$

2. Принимаем по прил. 8 однорольный блок грузоподъёмностью 10 т и с диаметром ролика $d_p = 300$ мм.

3. Максимальные допустимые значения коэффициента l

Тип механизма	Привод и режим работы	Коэффициент l
Грузоподъёмные механизмы (все, за исключением стреловых кранов, электроталей и лебёдок)	Ручной	18
	Машинный:	
	лёгкий	20
	средний	25
	тяжёлый	30
Краны стреловые	Ручной	16
	Машинный:	
	лёгкий	16
	средний	18
	тяжёлый	20
Тельферы	–	20
Лебёдки	Ручной	12
	Машинный	20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАНАТОЁМКОСТИ И РАСЧЁТ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЛЕБЁДОК

При закреплении лебёдок часто приходится определять их канатоёмкость и обеспечивать надёжное крепление от сдвига и опрокидывания. Правильность решения этих вопросов должна подтверждаться расчётами.

1. Канатоёмкость лебёдки зависит от длины и диаметра барабана $L_б$ и $D_б$, количество слоёв навивки каната на барабане n и диаметр каната d_n , которые выбираются из паспорта или определяются прил. 9. Канатоёмкость определяют, м

$$L_k = \frac{\pi z n (D_б + d_n)}{1000} - \frac{2\pi d_б}{1000},$$

где z – число витков каната на рабочей длине барабана, $z = L_б/t$; t – шаг навивки каната, $t = 1,1d$.

2. Рассчитываем крепление лебёдки от горизонтального смещения (рис. 14, а)

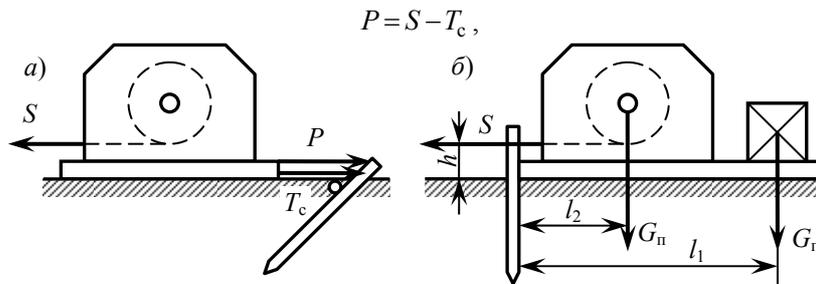


Рис. 14. Расчётная схема крепления лебёдок

где P – усилие, препятствующее смещению лебёдки, кН; S – тяговое усилие лебёдки, кН; T_c – сила трения рамы лебёдки об опорную поверхность, кН, $T_c = 10(G_л + G_г)f$; $G_л$ – масса лебёдки, т (определяется по паспорту или из прил. 9); $G_г$ – масса контргруза, т (если он применяется); f – коэффициент трения скольжения (определяется по прил. 10).

По усилию P рассчитываем элементы, закрепляющие лебёдку от смещения, канат, якорь.

3. Если необходимо, рассчитываем крепление лебёдки от опрокидывания с помощью контргруза (рис. 14, б), масса которого (T) определяется по формуле

$$G_г = \frac{k_y (Sh - 10G_л l_2)}{10l_1},$$

где k_y – коэффициент устойчивости лебёдки: $k_y = 2$; S – тяговое усилие лебёдки, кН; h – высота каната от опорной поверхности, м; l_1 и l_2 – расстояние, м, от ребра опрокидывания до линии действия $G_л$ и $G_г$.

Пример 15. Определить канатоёмкость лебёдки для каната диаметром $d = 18$ мм, если известно, что длина барабана $L_б = 1200$ мм, диаметр барабана $D_б = 350$ мм, количество слоёв навивки каната на барабане $n = 5$.

Решение.

1. Определяем шаг навивки каната на барабан лебёдки

$$t = 1,1d = 1,1 \cdot 18 = 19,8 \text{ мм.}$$

2. Подсчитываем число витков каната по длине барабана

$$z = L_б/t = 1200/19,8 = 61.$$

3. Определяем канатоёмкость лебёдки

$$L_k = \frac{\pi z n (D_б + d_n)}{1000} - \frac{2\pi D_б}{1000} = \frac{3,14 \cdot 61 \cdot 5 (350 + 18 \cdot 5)}{1000} - \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 350}{1000} = 331 \text{ м.}$$

Пример 16. Рассчитать элемент закрепления электролебёдки типа ЛМ-5М, установленной на бетонном полу цеха без контргруза (рис. 14, а).

Решение.

1. Находим силу трения лебёдки о бетонный пол, определив $G_л = 1,2$ т по прил. 9 и $f = 0,45$ по прил. 10,

$$T_c = 10G_л f = 10 \cdot 1,2 \cdot 0,45 = 5,4 \text{ кН.}$$

2. Определяем усилие на закрепляющий лебёдку канат

$$P = S - T_c = 50 - 5,4 = 44,6 \text{ кН,}$$

где S – тяговое усилие лебёдки типа ЛМ-5М, кН.

3. По усилию P рассчитываем канат для закрепления лебёдки за колонну здания.

Пример 17. Найти массу контргруза для крепления ручной 5-тонной лебёдки с учётом следующих данных: $h = 0,7$ м; $G_л = 0,8$ т; $l_2 = 0,9$ м; $l_1 = 2,1$ м.

Решение.

Находим массу контргруза, обеспечивающего устойчивость лебёдки от опрокидывания,

$$G_r = \frac{k_y(Sh - 10G_{л2})}{10l_1} = \frac{2 \cdot (50 \cdot 0,7 - 10 \cdot 0,8 \cdot 0,9)}{10 \cdot 2,1} = 2,6 \text{ т.}$$

РАСЧЁТ МОНОРЕЛЬСОВ

Расчёт монорельсов (рис. 15) выполняется в следующей последовательности.

1. Находим усилие, действующее на монорельс, кН

$$P = 10G_o k_{пд} + 10G_r k_{п},$$

где G_o – масса поднимаемого оборудования, т; G_r – масса тельфера или катучей тележки с таями, т (определяется по табл. 4).

2. Определяем максимальный изгибающий момент (кН · см) в монорельсе, пренебрегая изгибающим моментом от собственной массы его, составляющим незначительную долю (около 1 %) от общего изгибающего момента

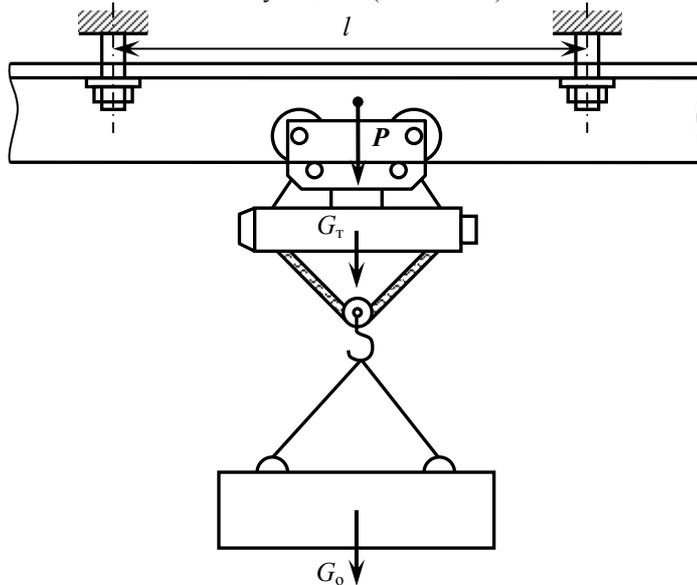


Рис. 15. Расчётная схема монорельса

4. Массы талей и тельферов

Наименование грузоподъёмного механизма	Масса механизмов, кг, при их грузоподъёмности, т					
	1	2	3,2	5	8	12,5
Тали червячные	32	–	75	145	270	410
Тали шестерёнчатые	30	50	70	125	170	–
Тельферы	245	360	560	815	–	–

$$M_{\max} = Pl/4,$$

где l – пролёт монорельса, см.

3. Находим требуемый момент сопротивления поперечного сечения монорельса, см³

$$W_{тр} = M_{\max} / (m \cdot 0,1R).$$

4. Принимаем сечение двутавровой балки для монорельса (прил. 6) по ГОСТ 19425–74 или ТУ 14-2-24–72, а в качестве замены – по ГОСТ 8239–72 выбирая значение момента сопротивления сечения $W_x^д$, ближайшее к расчётному $W_{тр}$.

Пример 18. Рассчитать сечение двутавровой балки монорельса для 5-тонного тельфера с длиной пролёта $l = 6$ м (рис. 15).

Решение.

1. Находим усилие, действующее на монорельс

$$P = 10G_o k_{\pi} k_d + 10G_{\pi} k_{\pi} = 10 \cdot 5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 69,3 \text{ кН.}$$

2. Определяем максимальный изгибающий момент в монорельсе

$$M_{\max} = Pl/4 = 69,3 \cdot 600/4 = 10395 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

3. Находим требуемый момент сопротивления поперечного сечения монорельса

$$W_{\text{тр}} = M_{\max} / (m \cdot 0,1R) = 10395 / (0,85 \cdot 0,1 \cdot 210) = 582 \text{ см}^3.$$

4. По таблице ГОСТ 19425–74 (прил. 6) принимаем для монорельса двутавр с параллельными внутренними гранями полк № 30 с моментом сопротивления $W_x^A = 633 > W_{\text{тр}} \text{ см}^3$.

РАСЧЁТ МОНТАЖНЫХ БАЛОК

Способ монтажа различного оборудования в закрытых помещениях с помощью полиспастов, закреплённых за монтажные балки, широко используется на практике и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами: простота такелажной оснастки; техническая и экономическая целесообразность по сравнению с применением монтажных мачт; возможность использования в стеснённых условиях и действующих цехах, там, где применение монтажных кранов невозможно.

В зависимости от грузоподъёмности и пролёта монтажные балки по конструкции могут быть различны: сплошные из одиночных швеллеров и двутавров, сквозные из парных швеллеров или двутавров, соединённые пластинами на сварке, а также решётчатые или сварные составные.

Учитывая, что масса монтажной балки составляет незначительную долю от массы поднимаемого оборудования, а пролёты балок сравнительно невелики (как правило, до 6 м), в практических расчётах собственной массой балки можно пренебречь.

Расчёт монтажной балки выполняется в следующей последовательности (рис. 16).

1. Определяем усилие, действующее на монтажную балку в точках подвески полиспастов, кН

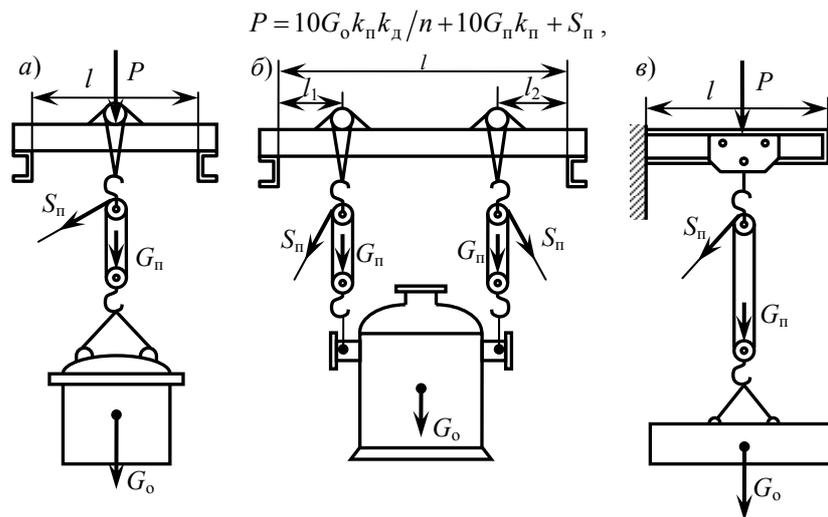


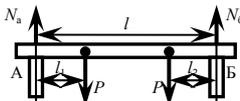
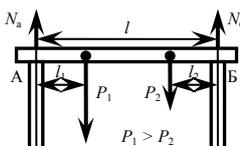
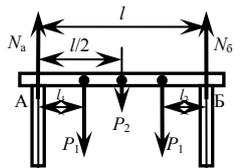
Рис. 16. Расчётные схемы монтажных балок

где G_o – масса поднимаемого оборудования, т; n – количество полиспастов, участвующих в подъёме оборудования (при неравномерной нагрузке на полиспасты определяется усилие в каждом из них); G_{π} – масса полиспаста, получаемая при его предварительном расчёте, т; S_{π} – усилие в сбегающей ветви полиспаста, полученное при его расчёте, кН (учитывается в случае направления сбегающей ветви с неподвижного верхнего блока вниз).

2. Подсчитываем максимальный изгибающий момент (кН · см) в монтажной балке по одной из формул, приведённых в табл. 5.

5. Расчётные формулы элементов грузоподъёмных средств, работающих на поперечный изгиб и продольное сжатие (без учёта собственной массы элементов)

Расчётная схема	Соотношение плеч	Опорные реакции		Максимальный изгибающий момент, M_{\max}	Максимальный прогиб f
		N_a	N_b		
	$l_1 = l_2$	$0,5P$	$0,5P$	$P \frac{l}{4}$	$\frac{Pl^3}{48EI}$

	$l_1 < l_2$	$P \frac{l_2}{l}$	$P \frac{l_1}{l}$	$P l_1 \frac{l_2}{l}$	$\frac{P l_2 l^2}{27 E I} \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right)}$
	$l_1 = l_2$	P	P	$P l_1$	$\frac{P l_1^3}{27 E I} \left(\frac{3 l^2}{l_1^2} - 4 \right)$
	$l_1 < l_2$	$P \left(1 + \frac{l_2 - l_1}{l} \right)$	$P \left(1 - \frac{l_2 - l_1}{l} \right)$	$P l_1 \left(1 + \frac{l_2 - l_1}{l} \right)$	$\frac{P l^2}{27 E I} \left[\left(l_1 - \frac{l_1^3}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right)} + \left(l_2 - \frac{l_2^3}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right)} \right]$
	$l_1 = l_2$	$P_1 - (P_1 - P_2) \frac{l_1}{l}$	$P_2 + (P_1 - P_2) \frac{l_1}{l}$	$\left[P_1 - (P_1 - P_2) \frac{l_1}{l} \right] l_1$	$\frac{l_1 l^2}{27 E I} (P_1 + P_2) \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right)}$
	$l_1 < l_2$	$P_1 \left(1 - \frac{l_1}{l} \right) + P_2 \frac{l_2}{l}$	$P_1 \frac{l_1}{l} + P_2 \left(1 - \frac{l_2}{l} \right)$	$\left[P_1 \left(1 - \frac{l_1}{l} \right) + P_2 \frac{l_2}{l} \right] l_1$	$\frac{P_1 l_1 l^2}{27 E I} \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right)} + \frac{P_2 l_2 l^2}{27 E I} \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right)}$
	$l_1 = l_2$	$P_1 + \frac{P_2}{2}$	$P_1 + \frac{P_2}{2}$	$P_1 l_1 + P_2 \frac{l}{4}$	$\frac{P_1 l_1 l^2}{27 E I} \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right)} + \frac{P_2 l_2 l^2}{27 E I} \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right)} + \frac{P_2 l^3}{48 E I}$
	$l_1 < l_2$	$P_1 \left(1 + \frac{l_2 - l_1}{l} \right) + \frac{P_2}{2}$	$P_1 \left(1 - \frac{l_2 - l_1}{l} \right) + \frac{P_2}{2}$	$P_1 \frac{l_1 + l_2}{2} + P_2 \frac{l}{4}$	$\frac{P_1 l_1 l^2}{27 E I} \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right)} + \frac{P_2 l_2 l^2}{27 E I} \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2} \right)} + \frac{P_2 l^3}{48 E I}$

– для схемы, изображённой на рис. 16, а

$$M_{\max} = \frac{P l}{4};$$

– для схемы, изображённой на рис. 16, б

$$M_{\max} = P l_1;$$

– для схемы, изображённой на рис. 16, в

$$M_{\max} = P l,$$

где l – пролёт монтажной балки, см; l_1 – расстояние от опоры монтажной балки до точки подвески полиспаста, см.

3. В дальнейшем расчёт сечения монтажной балки ведут для элементов, работающих на поперечный изгиб.

РАСЧЁТ МОНТАЖНОЙ БАЛКИ СПЛОШНОГО И СКВОЗНОГО СЕЧЕНИЯ

Пример 19. Рассчитать монтажную балку пролётом $l = 3$ м для подъёма оборудования массой $G_0 = 18$ т одним полиспастом, закреплённым за середину балки, если известно, что масса полиспаста $G_{\Pi} = 1,2$ т, усилие в сбегающей ветви $S_{\Pi} = 35$ кН (рис. 16, а).

Решение.

1. Находим усилие, действующее на монтажную балку в точках подвески полиспаста:

$$P = 10 G_0 k_{\Pi} k_{\text{д}} / n + 10 G_{\Pi} k_{\Pi} + S_{\Pi} = 10 \cdot 18 \cdot 1,1 \cdot 1,1 / 1 + 10 \cdot 1,2 \cdot 1,1 + 35 = 266 \text{ кН.}$$

2. Определяем максимальный изгибающий момент в монтажной балке

$$M_{\max} = Pl/4 = 266 \cdot 300/4 = 19950 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

3. Находим требуемый момент сопротивления поперечного сечения монтажной балки

$$W_{\text{тр}} = M_{\max}/(m \cdot 0,1R) = 19950/(0,85 \cdot 0,1 \cdot 210) = 1118 \text{ см}^3.$$

В дальнейшем пример решаем в двух вариантах: вначале для балки сплошного сечения, затем для балки сквозного сечения.

4. Для балки сплошного сечения принимаем по прил. 6 двутавр № 45 с $W_x^I = 1231 \text{ см}^3 > W_{\text{тр}}$ и моментом инерции $I_x^I = 27696 \text{ см}^4$. Для балки сквозного сечения выбираем по прил. 11 два швеллера № 36 с $W_x^III = 601$ ($W_x = 2W_x^III = 2 \cdot 601 = 1202$) $\text{см}^3 > W_{\text{тр}}$ и моментом инерции $I_x^III = 10820 \text{ см}^4$ ($I_x = 2I_x^III = 2 \cdot 10820 = 21640$) см^4 .

5. Проверяем максимальный прогиб монтажной балки:

– для балки сплошного сечения

$$f = Pl^3/(48EI_x) = 266 \cdot 300^3/(48 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 27696) = 0,26 \text{ см} < \\ [f] = l/600 = 300/600 = 0,5 \text{ см};$$

– для балки сквозного сечения

$$f = 266 \cdot 300^3/(48 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 21640) = 0,33 \text{ см} < [f] = 300/600 = 0,5 \text{ см}.$$

РАСЧЁТ КОНСОЛЬНОЙ МОНТАЖНОЙ БАЛКИ

Балки такого типа применяются для подачи оборудования внутрь помещения через монтажный проём в стенке здания. Они крепятся к перекрытиям здания или подвешиваются к строительным фермам. Консольные балки изготавливаются сплошной или сквозной конструкции и на них устанавливают ручную монорельсовую тележку, за которую подвешивается блок, полиспасть или таль (рис. 16, в).

Пример 20. Рассчитать консольную монтажную балку, закреплённую в стене здания, используемую для подъёма аппарата массой $G_o = 2$ т с помощью тали. Длина консоли балки $l = 1,5$ м, масса тали $G_T = 0,36$ т.

Решение.

1. Находим усилие, действующее на консольную балку, пренебрегая массой балки

$$P = 10G_o k_{\text{п}} k_{\text{д}} + 10G_T k_{\text{п}} = 10 \cdot 2 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 0,36 \cdot 1,1 = 28,2 \text{ кН}.$$

2. Определяем изгибающий момент в балке

$$M_{\max} = Pl = 28,2 \cdot 150 = 4230 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

3. Вычисляем требуемый момент сопротивления поперечного сечения балки

$$W_{\text{тр}} = M_{\max}/(m \cdot 0,1R) = 4230/(0,85 \cdot 0,1 \cdot 210) = 237 \text{ см}^3.$$

4. По таблице ГОСТ (прил. 6) принимаем для изготовления балки двутавр № 24 с $W_x^I = 239 \text{ см}^3$ и моментом инерции $I_x^I = 3460 \text{ см}^4$.

5. Проверяем максимальный прогиб монтажной балки. Для балки консольного типа он определяется по формуле

$$f = Pl^3/(3EI); \\ f = 28,2 \cdot 150^3/(3 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 3460) = 0,44 \text{ см} > \\ [f] = l/600 = 150/600 = 0,25 \text{ см}.$$

Полученный прогиб балки из двутавра № 24 – больше допустимого, поэтому по прил. 6 для изготовления балки принимаем двутавр № 30 с $W_x^I = 472 \text{ см}^3$, $I_x^I = 7080 \text{ см}^4$ и снова проверяем максимальный прогиб: $f = 28,2 \cdot 150^3/(3 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 7080) = 0,21 \text{ см} < [f] = 0,25 \text{ см}.$

РАСЧЁТ ПОВОРОТНЫХ ШАРНИРОВ

Поворотные шарниры используются при подъёме и установке в проектное вертикальное положение колонных аппаратов, металлических дымовых и вентиляционных труб, а также высотных металлоконструкций. При этом способе подъёма оборудование поворачивается вокруг временного шарнира, прикреплённого к его основанию и фундаменту или рядом с фундаментом. При расчёте шарнира необходимо иметь в виду, что усилие на шарнир $P_{\text{ш}}$, а также его горизонтальная и вертикальная составляющие изменяют свою величину в зависимости от угла подъёма аппарата φ . Вертикальная же составляющая $P_{\text{в}}$ при всех способах подъёма имеет максимальное значение на завершающей стадии подъёма – при посадке аппарата на фундамент. Поэтому основные элементы шарниров – оси, проушины и косынки – рассчитываются при максимальных значениях $P_{\text{г}}$ и $P_{\text{в}}$.

Расчёт поворотного шарнира выполняется в следующей последовательности (рис. 17).

1. Определяем максимальное усилие (кН) в подъёмном полиспасте или канатной тяге для начального момента подъёма аппарата при угле $\varphi = 0$:

– для мачт, портала или шевра, установленных за поворотным шарниром (рис. 17, а),

$$P = \frac{10 G_o k_{\text{п}} k_{\text{д}} l_{\text{ц.м}}}{(H - h_{\text{ф}}) \sin \beta - a \cos \beta};$$

– для мачт или портала, установленных между поворотным шарниром и центром массы поднимаемого аппарата (рис. 17, б),

$$P = \frac{10 G_o k_{\text{п}} k_{\text{д}} l_{\text{ц.м}}}{(H - h_{\text{ф}}) \sin \beta + a \cos \beta},$$

где G_o – масса поднимаемого аппарата, т; $l_{\text{ц.м}}$ – расстояние от поворотного шарнира до линии действия массы аппарата (центра массы), м; H – высота грузоподъёмного средства (мачты, портала, шевра), м, которую задаём или рассчитываем; $h_{\text{ф}}$ – высота фундамента, м; β – угол между подъёмным полиспастом или канатной тягой и осью мачты, шевра или портала; a – расстояние от оси поворотного шарнира до оси мачты, шевра или портала, м (назначается).

В этом случае для подъёма аппарата обычно используются парные мачты или портал, высота которого больше высоты поднимаемого оборудования вместе с фундаментом. Подъём аппарата выполняется до максимально возможного угла φ ; доводка его до проектного вертикального положения осуществляется дотягивающей системой:

– для падающего шевра или наклоняющегося портала при совмещении их шарнирных опор и поворотного шарнира аппарата по одной оси (рис. 17, в)

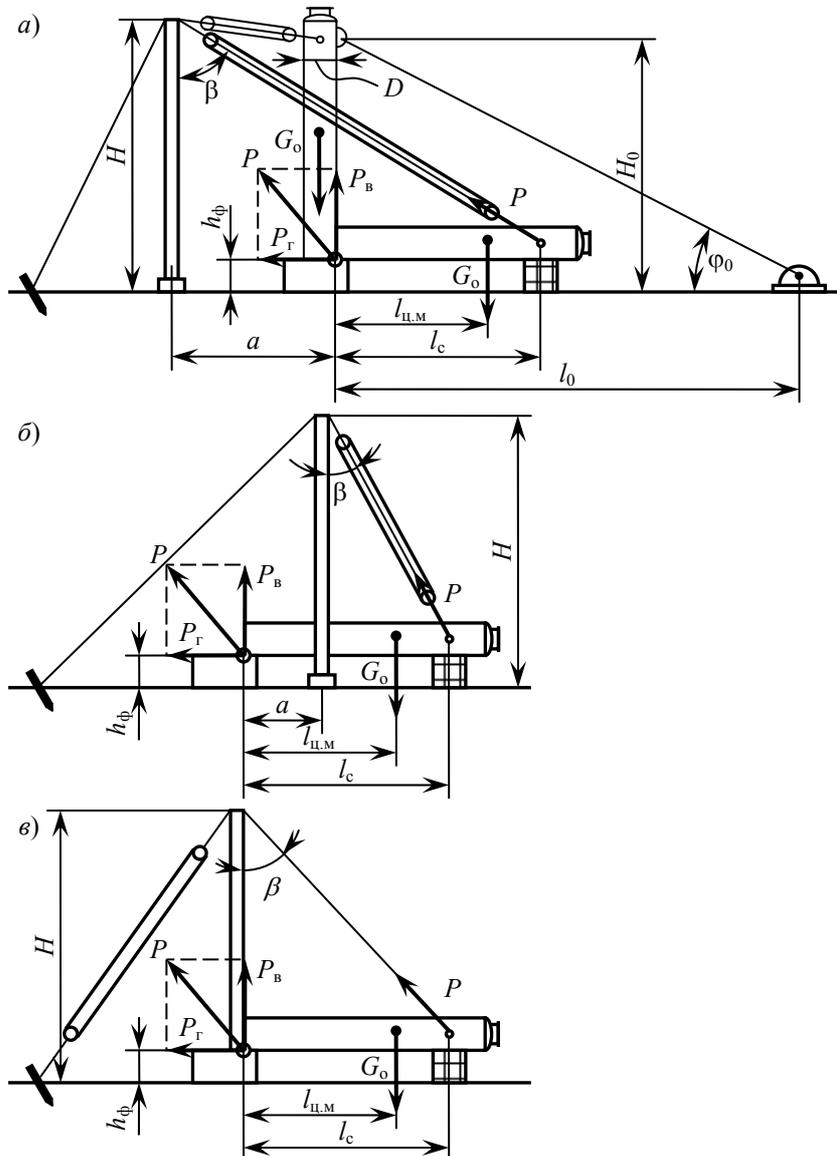


Рис. 17. Расчётная схема для поворотных шарниров

$$P = \frac{10G_0 k_{\text{п}} k_{\text{д}} l_{\text{ц.м}}}{H \sin \beta};$$

– для мачт и портала, установленных на грунте по оси поворотного шарнира,

$$P = \frac{10G_0 k_{\text{п}} k_{\text{д}} l_{\text{ц.м}}}{(H - h_{\phi}) \sin \beta}.$$

В случае подъёма оборудования, имеющего предварительный уклон к горизонту на угол φ , в вышеприведённых формулах расстояние $l_{\text{ц.м}}$ заменяется проекцией $l_{\text{ц.м}}$ на горизонталь с учётом этого угла.

Угол β может быть определён графически путём построения монтажной схемы в масштабе или по формулам:

– при установке грузоподъёмного средства за поворотным шарниром и строповке аппарата за монтажные штупера

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{l_{\text{с}} + a}{H - (h_{\phi} + 0,5D)};$$

– при установке грузоподъёмного средства между поворотным шарниром и центром массы аппарата

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{l_{\text{с}} - a}{H - (h_{\phi} + 0,5D)};$$

– при установке мачт или портала по оси поворотного шарнира

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{l_{\text{с}}}{H - (h_{\phi} + 0,5D)};$$

– при совмещении опор шевра с поворотным шарниром

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{l_{\text{с}}}{H - 0,5D},$$

где $l_{\text{с}}$ – расстояние от опоры аппарата до места строповки, м (величиной $l_{\text{с}}$ задаётся); D – диаметр аппарата, м.

Угол β определяется по прил. 12 (при $\operatorname{tg} \beta > 1$ значение угла β находим по $\operatorname{ctg} \beta = 1 / \operatorname{tg} \beta$).

2. Находим максимальное значение горизонтального усилия (кН) на шарнир, возникающего в начальный момент подъёма аппарата при $\varphi = 0$, независимо от места установки груза подъёмного средства

$$P_{\Gamma} = P \sin \beta.$$

3. Определяем максимальное вертикальное усилие (кН), действующее на шарнир в момент посадки аппарата на фундамент при угле φ , близком к 90° , независимо от места установки грузоподъёмного средства

$$P_B = 10G_0 k_{\text{п}} k_{\text{д}} (1 + 0,6D \operatorname{tg} \varphi_0 / H_0),$$

где $0,6D$ – расстояние от оси шарнира до оси аппарата; приближённо считаем, что расстояние от стенки аппарата до оси шарнира составляет $0,1D$ (диаметра аппарата); φ_0 – угол наклона тормозной оттяжки к горизонту (рис. 17, а); $\operatorname{tg} \varphi_0 = (H_0 + h_{\phi}) / l_0$ (высотой крепления тормозной оттяжки к аппарату H_0 и расстоянием от поворотного шарнира до места крепления тормозной оттяжки l_0 задаются), угол φ_0 находят по прил. 12.

4. Рассчитываем ось шарнира:

1) находим максимальный изгибающий момент (кН · см) в оси шарнира между опорными проушинами основания шарнира (рис. 18, а), подставляя в формулу наибольшее из усилий P_{Γ} или P_B (как правило, $P_B > P_{\Gamma}$):

$$M_{\text{ш}} = P_B l_{\text{пр}} / (4n_{\text{к}}),$$

где $l_{\text{пр}}$ – расстояние между проушинами, см (величиной $l_{\text{пр}}$ задаются); $n_{\text{к}}$ – количество косынок, соединяющих опорную часть аппарата с осью шарнира (величиной $n_{\text{к}}$ задаются);

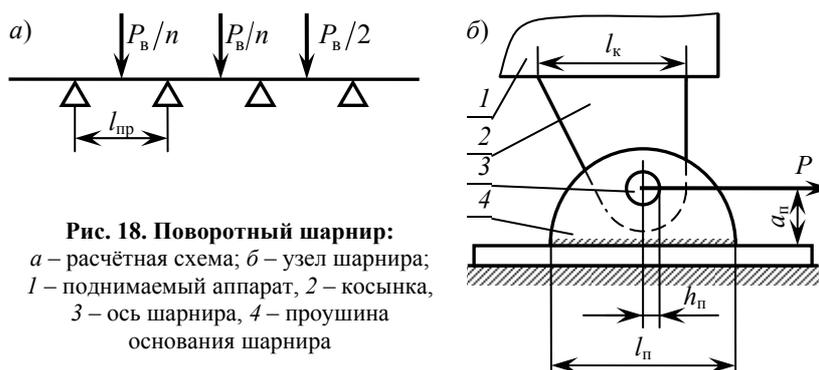


Рис. 18. Поворотный шарнир:
а – расчётная схема; б – узел шарнира;
1 – поднимаемый аппарат, 2 – косынка,
3 – ось шарнира, 4 – проушина
основания шарнира

2) определяем минимальный момент сопротивления сечения оси шарнира, см³

$$W_{ш} = M_{ш} / (m \cdot 0,1R);$$

3) подсчитываем минимальный диаметр оси шарнира, см

$$d = \sqrt[3]{10W_{ш}};$$

4) проверяем ось шарнира на срез, задаваясь маркой стали

$$\frac{P_B}{2n_k \pi d^2 / 4} \leq mR_{ср}.$$

5. Рассчитываем опорные проушины основания шарнира:

1) проверяем опорные проушины на срез, задаваясь количеством проушин $n_{п}$, расстоянием (см) от наружной кромки проушины до отверстия $h_{п}$ и толщиной листа (см) для проушины $\delta_{п}$,

$$\frac{P_r}{2n_{п} h_{п} \delta_{п}} \leq mR_{ср};$$

2) проверяем проушину на смятие

$$\frac{P_B}{n_{п} \delta_{п} d} \leq mR_{см.шн};$$

3) находим изгибающий момент в проушине (кН · см), задаваясь расстоянием (см) от опоры проушины до центра отверстия для оси шарнира $a_{п}$,

$$M_{п} = P_r a_{п} / n_{п};$$

4) определяем минимальный момент сопротивления проушины, см³

$$W_{п} = M_{п} / (m \cdot 0,1R);$$

5) подсчитываем длину опорной части проушины, см

$$l_{п} = \sqrt{6W_{п} / \delta_{п}};$$

6) проверяем прочность сварного шва крепления опорной проушины к основанию шарнира на изгиб и срез, учитывая, что проушина приварена без разделки кромок угловым швом с обеих сторон

$$\sqrt{\left(\frac{P_r}{n_{п} \beta h_{ш} l_{ш}}\right)^2 + \left(\frac{6M_{п}}{\beta h_{ш} l_{ш}^2}\right)^2} \leq mR_y^{св},$$

где β – коэффициент, учитывающий глубину провара (для ручной сварки $\beta = 0,7$); $h_{ш}$ – толщина шва, см; $l_{ш}$ – общая длина сварного шва, см; $l_{ш} = 2l_{п} - 1$.

6. Косынка шарнира, приваренная к основанию поднимаемого аппарата, рассчитывается аналогично проушинам опоры шарнира с той разницей, что расчётные нагрузки, действующие на них, принимаются равными максимальной вертикальной составляющей P_B , причём это усилие делится на количество косынок n .

Пример 21. Рассчитать поворотный шарнир для подъёма аппарата колонного типа массой $G_0 = 120$ т, высотой $H_a = 30$ м и диаметром $D = 2,4$ м на фундамент высотой $h_{ф} = 0,8$ м. Центр массы колонны расположен на расстоянии $l_{ц.м} = 12$ м от её основания. Колонна поднимается способом поворота вокруг шарнира вертикальной монтажной мачтой высотой $H = 20$ м, установленной за поворотным шарниром на расстоянии от него $a = 6$ м. Высота строповки колонны $l_c = 20$ м. Расстояние от оси шарнира до тормозной лебёдки $l_0 = 50$ м (рис. 17, а).

Решение.

1. Находим угол между подъёмным полиспастом и мачтой в начальный момент подъёма при угле $\varphi = 0$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{l_c + a}{H - (h_{ф} + 0,5D)} = \frac{20 + 6}{20 - (0,8 + 0,5 \cdot 2,4)} = 1,4,$$

угол β определяем по таблицам тригонометрических функций (прил. 12) через котангенс

$$\operatorname{ctg} \beta = 1 / \operatorname{tg} \beta = 1 / 1,4 = 0,7 \text{ и } \beta = 55^\circ.$$

2. Определяем усилие в подъёмном полиспасте в начальный момент подъёма колонны:

$$P = \frac{10G_0 k_{п} k_{д} l_{ц.м}}{(H - h_{ф}) \sin \beta - a \cos \beta} = \frac{10 \cdot 120 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 12}{(20 - 0,8) \cdot 0,819 - 6 \cdot 0,574} = 1419 \text{ кН}.$$

3. Находим максимальное значение горизонтального усилия, действующего на шарнир, которое соответствует начальному моменту подъёма колонны

$$P_r = P \sin \beta = 1419 \cdot 0,819 = 1162 \text{ кН}.$$

4. Определяем максимальное значение вертикального усилия, действующего на шарнир в момент посадки колонны

на фундамент

$$P_B = 10G_0 k_n k_d (1 + 0,6 D \operatorname{tg} \varphi_0 / H_0) = \\ = 10 \cdot 120 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot (1 + 0,6 \cdot 2,4 \cdot 0,42 / 20) = 1496 \text{ кН},$$

где φ_0 – угол наклона тормозной оттяжки к горизонту (находят через $\operatorname{tg} \varphi_0 = (H_0 + h_\Phi) / l_0 = (20 + 0,8) / 50 = 0,42$ по прил. 12 $\varphi_0 = 23^\circ$).

5. Рассчитываем ось шарнира:

1) находим максимальный изгибающий момент в оси шарнира, задаваясь расстоянием между опорными проушинами основания шарнира (рис. 18, а) $l_{\text{шп}} = 30$ см и количество косынок, приваренных к корпусу колонны, $n_k = 6$

$$M_{\text{ш}} = P_B l_{\text{шп}} / (4n_k) = 1496 \cdot 30 / (4 \cdot 6) = 1870 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

2) определяем минимальный момент сопротивления поперечного сечения оси шарнира

$$W_{\text{ш}} = M_{\text{ш}} / (m \cdot 0,1R) = 1870 / (0,85 \cdot 0,1 \cdot 230) = 95,7 \text{ см}^3;$$

3) подсчитываем минимальный диаметр оси шарнира

$$d = \sqrt[3]{10W_{\text{ш}}} = \sqrt[3]{10 \cdot 95,7} = 9,85 \text{ см},$$

принимаем $d = 10$ см;

4) проверяем ось шарнира на срез для стали Ст5:

$$\frac{P_B}{2n_k \pi d^2 / 4} \leq mR_{\text{ср}};$$

$$\frac{1496}{2 \cdot 6 \cdot 3,14 \cdot 10^2 / 4} = 1,6 \text{ кН/см}^2 = 16 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 140 = 119 \text{ МПа}.$$

6. Рассчитываем опорные проушины основания шарнира для начального момента подъёма колонны:

1) проверяем опорные проушины на срез, задаваясь $h_{\text{п}} = 5$ см, $\delta_{\text{п}} = 1,8$ см и $n_{\text{п}} = 7$ шт.:

$$\frac{P_B}{2n_{\text{п}} h_{\text{п}} \delta_{\text{п}}} \leq mR_{\text{ср}};$$

$$\frac{1162}{2 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 1,8} = 9,2 \text{ кН/см}^2 = 92 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 130 = 110,5 \text{ МПа};$$

2) проверяем проушины на смятие:

$$\frac{P_B}{n_{\text{п}} \delta_{\text{п}} d} \leq mR_{\text{см.шпн}};$$

$$\frac{1496}{7 \cdot 1,8 \cdot 10} = 11,9 \text{ кН/см}^2 = 119 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 160 = 136 \text{ МПа};$$

3) находим изгибающий момент в проушине принимая длину консоли $a_{\text{п}} = 30$ см

$$M_{\text{п}} = P_B a_{\text{п}} / n_{\text{п}} = 1162 \cdot 30 / 7 = 4980 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

4) определяем минимальный момент сопротивления сечения проушины

$$W_{\text{п}} = M_{\text{п}} / (m \cdot 0,1R) = 4980 / (0,85 \cdot 0,1 \cdot 210) = 279 \text{ см}^3;$$

5) подсчитываем длину опорной части проушины

$$l_{\text{п}} = \sqrt{6W_{\text{п}} / \delta_{\text{п}}} = \sqrt{6 \cdot 279 / 1,8} = 30,5 \text{ см},$$

принимаем $l_{\text{п}} = 35$ см;

6) проверяем прочность сварного шва крепления опорной проушины к основанию шарнира:

$$\sqrt{\left(\frac{P_B}{n_{\text{п}} \beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}}\right)^2 + \left(\frac{6M_{\text{п}}}{\beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}^2}\right)^2} \leq mR_y^{\text{св}};$$

$$\sqrt{\left(\frac{1162}{7 \cdot 0,7 \cdot 1,8 \cdot 69}\right)^2 + \left(\frac{6 \cdot 4980}{0,7 \cdot 1,8 \cdot 69^2}\right)^2} = 5,3 \text{ кН/см}^2 = \\ = 53 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 150 = 127,5 \text{ МПа},$$

где $l_{\text{ш}} = 2l_{\text{п}} - 1 = 2 \cdot 35 - 1 = 69$ см.

7. Аналогичным образом рассчитываем косынки, соединяющие опорную часть колонны с осью шарнира в момент

посадки колонны на фундамент:

1) проверяем косынки на срез, задаваясь размерами $h_k = 6$ см и $\delta_{\text{п}} = 2$ см:

$$\frac{P_{\text{в}}}{2n_k h_k \delta_k} \leq mR_{\text{ср}};$$

$$\frac{1496}{2 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 2} = 10,4 \text{ кН/см}^2 = 104 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 130 = 110,5 \text{ МПа};$$

2) проверяем косынки на смятие:

$$\frac{P_{\text{в}}}{n_k \delta_k d} \leq mR_{\text{с.шн}};$$

$$\frac{1496}{6 \cdot 2 \cdot 10} = 12,5 \text{ кН/см}^2 = 125 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 160 = 136 \text{ МПа};$$

3) находим изгибающий момент в косынке, задаваясь размером $b = 50$ см с учётом длины консоли у крайних косынок шарнира

$$M_k = P_{\text{в}} b / n_k = 1496 \cdot 50 / 6 = 12467 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

4) определяем минимальный момент сопротивления сечения косынки

$$W_k = M_k / (m \cdot 0,1R) = 12467 / (0,85 \cdot 0,1 \cdot 210) = 698 \text{ см}^3;$$

5) подсчитываем длину опорной части косынки

$$l_k = \sqrt{6W_k / \delta_k} = \sqrt{6 \cdot 698 / 2} = 45,8 \text{ см},$$

принимаем $l_k = 50$ см.

6) проверяем прочность сварного шва крепления косынок к основанию колонны:

$$\sqrt{\left(\frac{P_{\text{в}}}{n_k \beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}}\right)^2 + \left(\frac{6M_k}{\beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}^2}\right)^2} \leq mR_{\text{св}};$$

$$\sqrt{\left(\frac{1496}{6 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 99}\right)^2 + \left(\frac{6 \cdot 12467}{0,7 \cdot 2 \cdot 99^2}\right)^2} = 5,74 \text{ кН/см}^2 = 57,4 \text{ МПа} < 0,85 \cdot 150 = 127,5 \text{ МПа},$$

где $l_{\text{ш}} = 2l_k - 1 = 2 \cdot 50 - 1 = 99$ см.

РАСЧЁТ ЯКОРЕЙ

Для закрепления различных элементов такелажа: вант, полиспастов, оттяжек, некоторых видов подъёмно-транспортных машин, в частности лебёдок, применяются якоря. В зависимости от конкретных условий на монтажной площадке, а также величины нагрузок применяются различные типы якорей: инвентарные наземные и полузаглублённые, заглублённые или горизонтальные, свайные.

В каждом конкретном случае выбирается наиболее целесообразный тип якоря и производится расчёт его основных элементов, обеспечивающих надёжную работу при воздействии на якорь расчётных монтажных нагрузок.

РАСЧЁТ НАЗЕМНЫХ ИНВЕНТАРНЫХ ЯКОРЕЙ

Расчёт якоря этого типа состоит в определении его массы, обеспечивающей устойчивость якоря от сдвига и опрокидывания (рис. 19).

1. Определяем суммарную массу железобетонных массивов, обеспечивающую устойчивость якоря от сдвига, т

$$G = 0,1(N_1 / f + N_2) k_{\text{yc}},$$

где N_1 и N_2 – горизонтальная и вертикальная составляющие усилия в тяге N , кН, при угле наклона тяги к горизонту α ; $N_1 = N \cos \alpha$, $N_2 = N \sin \alpha$; f – коэффициент трения скольжения якоря по грунту; k_{yc} – коэффициент запаса устойчивости якоря от сдвига, $k_{\text{yc}} = 1,5$.

Для якорей с металлическими рамами опытным путём полученные значения коэффициента трения f для разных грунтов в случае приложения усилия к якорю под наиболее выгодным углом $\alpha = 27^\circ 40'$:

для песка сухого утрамбованного 0,785 – 0,835

для чернозёма плотного сырого 0,895 – 0,955

для получернозёма сырого 0,990 – 0,995

Если рама якоря, не имеющая шипов или упорных стенок из швеллеров, устанавливается на твёрдом покрытии, то коэффициент трения скольжения выбирается из данных, приведённых в прил. 10; при установке бетонных массивов

непосредственно на грунт коэффициент трения скольжения принимается равным 0,5.

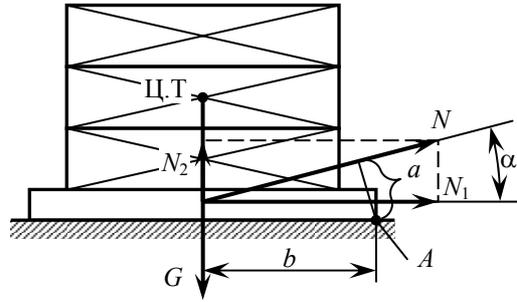


Рис. 19. Расчётная схема инвентарного наземного якоря

2. Подсчитываем необходимое количество бетонных блоков выбранных размеров и масс g

$$m = G/g .$$

3. Проверяем якорь на устойчивость от опрокидывания относительно ребра A

$$10Gb > k_{y.o}Na ,$$

где b – плечо удерживающего момента от массы якоря, м, равные 0,5 длины рамы; $k_{y.o}$ – коэффициент устойчивости якоря от опрокидывания, $k_{y.o} = 1,4$; a – плечо опрокидывающего момента от усилия N в тяге, м ($a = b \sin \alpha$).

Пример 22. Рассчитать инвентарный наземный якорь, установленный на плотном сыром чернозёме, для крепления полиспаста с усилием $N = 210$ кН, наклонённого к горизонту под углом 40° (рис. 19).

Решение.

1. Определяем величины горизонтальной и вертикальной составляющих усилий в полиспасте N :

$$N_1 = N \cos \alpha = 210 \cdot 0,766 = 161 \text{ кН};$$

$$N_2 = N \sin \alpha = 210 \cdot 0,643 = 135 \text{ кН}.$$

2. Находим общую массу, обеспечивающую устойчивость его от сдвига

$$G = 0,1(N_1/f + N_2)k_{y.o} = 0,1(161/0,925 + 135) \cdot 1,5 = 46,4 \text{ т}.$$

3. Выбираем бетонные блоки размером $1,5 \times 1 \times 1,35$ м и массой $g = 4,5$ т и определяем их необходимое количество

$$m = G/g = 46,4/4,5 = 10,3 \text{ шт}.$$

Принимаем количество блоков $m = 12$ шт., тогда масса якоря $G = mg = 12 \cdot 4,5 = 54$ т.

4. Принимаем размер опорной рамы для укладки блоков в плане $4,2 \times 5$ м и, зная, что плечо b составляющей половину длины рамы ($b = 2,1$ м), определяем плечо

$$a = b \sin \alpha = 2,1 \cdot 0,643 = 1,4 \text{ м}.$$

5. Проверяем устойчивость якоря от опрокидывания:

$$10Gb > k_{y.o}Na ;$$

$$10 \cdot 54 \cdot 2,1 = 1134 \text{ кН} \cdot \text{м} > 1,4 \cdot 210 \cdot 1,4 = 412 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Это неравенство свидетельствует об устойчивости якоря от опрокидывания.

РАСЧЁТ ПОЛУЗАГЛУБЛЁННЫХ ЯКОРЕЙ

Такие якоря состоят из железобетонных блоков массой по 7,5 т, размером, как правило, $900 \times 900 \times 4000$ мм, часть из которых заглубляется в грунт. Тяга крепится к заглублённым блокам. Длинная грань заглублённых блоков располагается перпендикулярно грузовой канатной тяге.

Особенностью расчёта якоря этого типа в отличие от наземного является наличие дополнительного сопротивления сдвигу от силы реакции грунта на переднюю упорную стенку бетонного массива, что позволяет снижать массу якоря.

Расчёт полузаглублённого якоря сводится к проверке якоря на отрыв от грунта вертикальной составляющей усилия, действующего на якорь, определению удельного давления на стенку котлована гранью заглублённого блока от горизонтальной составляющей усилия, действующего на якорь, и сравнению этого давления с допустимым. Расчётное удельное давление должно быть меньше допустимого, что обеспечивает отсутствие сдвига грунта, а значит и якоря.

Проверка якоря на сдвиг не выполняется, так как сдвигающее усилие компенсируется реакцией на якорь стенки котлована.

Также не требуется проверка якоря на опрокидывание. Это объясняется тем, что опрокидывающий момент, создаваемый тяговым канатом, закреплённым за самый нижний заглублённый блок, значительно меньше удерживающего от массы якоря. Кроме того, якорь, состоящий из блоков, не связанных между собой жёстко, не является монолитной конструкцией.

Полузаглублённый якорь рассчитывается следующим образом (рис. 20).

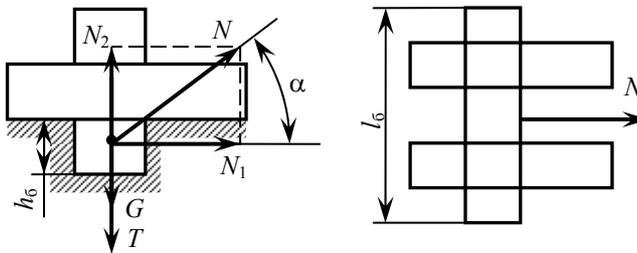


Рис. 20. Расчётная схема инвентарного полузаглублённого якоря

1. Проверяем якорь на отрыв от грунта вертикальным усилием

$$10G + T > k_y N_2,$$

где G – масса якоря, т (величиной G задаются, считая, что она должна несколько превышать тяговое усилие, действующее на якорь); T – сила трения заглублённого блока якоря о стенку котлована, кН; при коэффициенте трения f , равном 0,5, $T = N_1 f$; N_1 – горизонтальная составляющая усилия N , кН, действующего на якорь, $N_1 = N \cos \alpha$ (α – угол наклона тягового каната к горизонту); k_y – коэффициент устойчивости якоря, $k_y = 1,4$; N_2 – вертикальная составляющая усилия N , кН, $N_2 = N \sin \alpha$.

2. Подсчитываем удельное давление грани заглубленного блока на стенку котлована, МПа

$$\sigma_r = N_1 / (l_6 h_6 \eta) < [\sigma_r],$$

где l_6 – длина заглублённого блока, см; h_6 – высота заглублённого блока, см; η – коэффициент уменьшения допускаемого давления, учитывающий неравномерность смятия (принимается равным 0,25); $[\sigma_r]$ – допускаемое удельное давление на грунт данной категории, МПа, принимается для:

плотно слежавшегося гравия	0,50 – 0,80
плотно слежавшегося сухого песка	0,30 – 0,50
сухой глины	0,30 – 0,40
мокрого песка	0,10 – 0,30
мокрой глины	0,05 – 0,20
болотистого грунта, торфа	0,025 – 0,05

Пример 23. Рассчитать инвентарный полузаглублённый якорь для ванты, натянутой с усилием $N = 280$ кН, под углом к горизонту $\alpha = 45^\circ$. Якорь устанавливается на сухом песчаном грунте.

Решение.

1. Находим массу якоря, принимая для него количество бетонных блоков $m = 4$ шт., размерами $0,9 \times 0,9 \times 4$ м и массой $g = 7,5$ т каждый

$$G = mg = 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ т.}$$

2. Определяем силу трения заглублённого блока о стенку котлована

$$T = N_1 f = N \cos \alpha f = 280 \cdot 0,707 \cdot 0,5 = 99 \text{ кН.}$$

3. Подсчитываем величину вертикальной составляющей усилия в ванте N

$$N_2 = N \sin \alpha = 280 \cdot 0,707 = 198 \text{ кН.}$$

4. Проверяем якорь на отрыв от грунта, комплектуя его, как показано на рис. 20:

$$10G + T > k_y N_2;$$

$$10 \cdot 30 + 99 = 399 \text{ кН} > 1,4 \cdot 198 = 277 \text{ кН.}$$

Полученное неравенство свидетельствует об устойчивости якоря на отрыв от грунта.

5. Подсчитываем удельное давление заглублённого блока на стенку котлована и сравниваем его с допустимым на данную категорию грунта:

$$\sigma_r = \frac{N_1}{l_6 h_6 \eta} = \frac{N \cos \alpha}{l_6 h_6 \eta} < [\sigma_r];$$

$$\sigma_r = \frac{280 \cdot 0,707}{400 \cdot 90 \cdot 0,25} = 0,02 \text{ кН/см}^2 = 0,2 \text{ МПа} < [\sigma_r] = 0,3 \dots 0,5 \text{ МПа.}$$

РАСЧЁТ ЗАГЛУБЛЁННЫХ ЯКОРЕЙ

В зависимости от величины воспринимаемого усилия горизонтальных якорей, представляющих собой заглублённые горизонтально расположенные анкеры в виде брёвен, обрезков стальных труб или бетонных плит прямоугольного сечения с выводом на поверхность каната или тяжа, изготовленного из профильной стали, выполняются двух типов. Для нагрузок до 200 кН используются якоря облегчённого типа, в которых анкеры укладываются непосредственно в котлован, а нагрузок свыше 200 кН – усиленные якоря с укреплением вертикальной стенки котлована щитом из брёвен.

Рассмотрим порядок расчёта якорей этих типов с анкерами из брёвен или стальных труб.

Расчёт облегчённых заглублённых якорей. При расчёте заглублённых якорей определяются:

- устойчивость якоря от вырывания при действии вертикальных сил;
- давление на грунт от горизонтальных сил;
- сечение элементов якоря.

Расчёт выполняется в следующем порядке:

1. Проверяем устойчивость якоря при действии вертикальных сил (рис. 21, а)

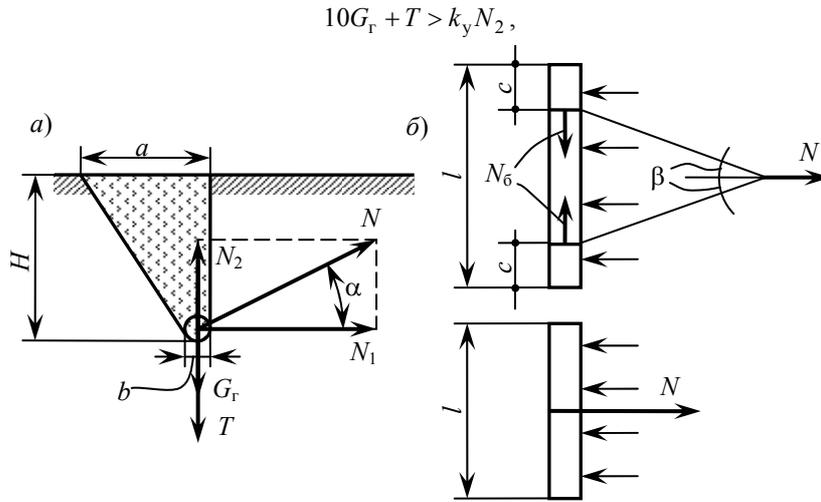


Рис. 21. Расчётные схемы заглублённого облегчённого якоря

где G_r – масса грунта котлована, т; T – сила трения анкера о стенку котлована, кН; k_y – коэффициент устойчивости якоря: $k_y = 3$; N_2 – вертикальная составляющая усилия в тяге якоря, кН.

Эти величины могут быть найдены по следующим формулам:

$$G_r = \frac{a+b}{2} H l \gamma,$$

где a и b – размеры котлована, м; H – глубина заложения анкера, м; l – длина анкера, м; γ – объёмная масса грунта, т/м³ (в среднем $\gamma = 1,5$ т/м³),

$$T = f N_1 = f N \cos \alpha,$$

где f – коэффициент трения анкера по грунту (принимается для дерева $f = 0,5$, для стали $f = 0,45$); N – усилие в тяге якоря, кН, с учётом коэффициентов перегрузки и динамичности; α – угол наклона грузовой тяги якоря к горизонту.

2. Определяем удельное давление на грунт от действия горизонтальных сил (МПа)

$$\sigma_r = N_1 / (l d n) \leq [\sigma_r],$$

где d – диаметр анкера, см; n – количество брёвен или труб, соприкасающихся со стенкой котлована; η – коэффициент уменьшения допускаемого давления, учитывающий неравномерность смятия (принимается равным 0,25); $[\sigma_r]$ – допускаемое удельное давление на грунт данной категории при расчётной глубине заложённого анкера, МПа; принимается по ранее рассмотренной группе грунтов.

3. Анкер на прочность может рассчитываться для двух случаев: якорь с одной тягой и с двумя тягами (рис. 21, б). В якорях с бетонными анкерами грузовые тяги привариваются к балкам, заложённым по всей длине бетонного массива, и расчёт на прочность таких анкеров обычно не выполняется. Ниже приводятся расчёты для анкеров с одной и двумя тягами.

Якорь с одной тягой. Определяем максимальный изгибающий момент в анкере, кН · см

$$M = q l^2 / 8 = N l / 8,$$

где q – равномерно распределённая нагрузка на анкер, $q = N / l$.

Находим требуемый момент сопротивления сечения анкера в целом, см³

$$W_{тр} = M / (m \cdot 0,1R),$$

где m – коэффициент условия работы, $m = 0,85$; R – расчётное сопротивление анкера, работающего на изгиб (для брёвен $R = 13$ МПа, для труб R определяется по прил. 2 для прокатной стали).

В зависимости от выбранного материала определяем сечение анкера, взяв его из одного или нескольких брёвен или труб. Сечение анкера из стальных труб подбирается по прил. 7 так, чтобы суммарный момент сопротивления сечения W_x был ближайшим большим к $W_{тр}$. Для анкера из брёвен определяем их диаметр по формуле

$$d = \sqrt[3]{10 W_{тр} / n},$$

где n – количество брёвен (величиной n задаются).

Расчёт якоря с двумя тягами. Определяем максимальный изгибающий момент в анкере, кН · см

$$M = Nc^2 / (2l),$$

где c – расстояние от конца анкера до точки крепления, см.

Находим усилие, сжимающее анкер, кН

$$N_6 = \operatorname{tg} \beta N / 2,$$

где β – угол между тягой и направлением усилия N .

Проверяем анкер на прочность при его изгибе и сжатии, задаваясь диаметром брёвен или стальных труб и их количеством

$$N_6 / F + M / W_x \leq mR,$$

где F – суммарная площадь сечения брёвен или труб, см² (для брёвен $F = 0,785d^2n$; для стальных труб F определяют по прил. 7); W_x – суммарный момент сопротивления сечения брёвен или труб, см³ (для брёвен $W_x = 0,1d^3n$, для стальных труб W_x определяют по прил. 7).

Расчёт усиленных заглублённых якорей. Принцип расчёта этого типа якоря аналогичен расчёту облегчённого якоря (рис. 22).

1. Определяем устойчивость якоря от действия вертикальных сил

$$10G_r + T > k_y N_2,$$

где G_r – масса грунта котлована, т, $G_r = H a l \gamma$; k_y – коэффициент устойчивости якоря: $k_y = 2$. Остальные обозначения и расчёты такие же, как и для облегчённого якоря. Коэффициент трения анкера по бревенчатой стенке принимается равным 0,4.

2. Рассчитываем удельное давление на грунт от действия горизонтальных сил, МПа

$$\sigma_r = N_1 / (l h \eta) < [\sigma_r],$$

где h – высота вертикального щита, см.

3. Расчёт сечения анкера аналогичен расчёту облегчённого якоря.

Пример 24. Рассчитать заглублённый якорь для крепления тормозной оттяжки с усилием $N = 180$ кН, направленной под углом к горизонту $\alpha = 35^\circ$. Грунт – плотно слежавшийся гравий.

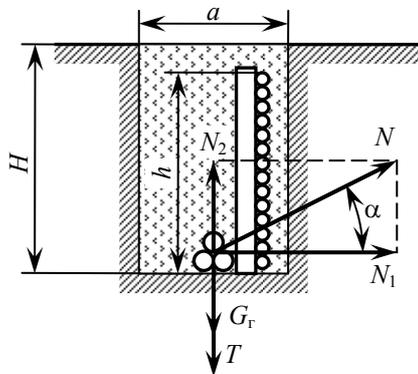


Рис. 22. Расчётная схема усиленного заглублённого якоря

Решение.

1. Задаёмся следующими размерами элементов якоря: ширина верхнего основания котлована $a = 3$ м; ширина нижнего основания $b = 0,5$ м; глубина заложения анкера $H = 3$ м; длина анкера $l = 3,2$ м.

2. Определяем массу грунта в котловане

$$G_r = \frac{a+b}{2} H l \gamma = \frac{3+0,5}{2} 3 \cdot 3,2 \cdot 1,5 = 25,2 \text{ т.}$$

3. Подсчитываем силу трения анкера (бревна) о стенку котлована

$$T = f N \cos \alpha = 0,5 \cdot 180 \cdot 0,819 = 73,7 \text{ кН}$$

4. Находим вертикальную составляющую усилия в тормозной оттяжке

$$N_2 = N \sin \alpha = 180 \cdot 0,574 = 103,3 \text{ кН.}$$

5. Проверяем устойчивость якоря от вырывания анкера из котлована усилием N_2 :

$$10G + T > k_y N_2;$$

$$10 \cdot 25,2 + 73,7 = 325,7 \text{ кН} > 3 \cdot 103,3 = 309,9 \text{ кН.}$$

Полученное неравенство свидетельствует об устойчивости якоря от вырывания из грунта.

6. Выбрав предварительно количество брёвен для анкера $n = 2$ шт. диаметром $d = 30$ см, рассчитываем удельное давление их на стенку котлована от действия горизонтальной составляющей N_1 :

$$\sigma_r = \frac{N_1}{ldn\eta} < [\sigma_r];$$

$$\sigma_r = \frac{147,5}{320 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 0,25} = 0,03 \text{ кН/см}^3 = 0,3 \text{ МПа} < [\sigma_r] = 0,5 \text{ МПа},$$

где $N_1 = N \cos \alpha = 180 \cdot 0,819 = 147,5$ кН.

7. Выбираем тип якоря с одной тягой, определяем изгибающий момент в брёвнах

$$M = Nl/8 = 180 \cdot 320/8 = 7200 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

8. Находим требуемый момент сопротивления брёвен

$$W_{\text{тр}} = M/(m \cdot 0,1R) = 7200/(0,85 \cdot 0,1 \cdot 13) = 6515 \text{ см}^3.$$

9. Находим диаметр брёвен

$$d = \sqrt[3]{10W_{\text{тр}}/n} = \sqrt[3]{10 \cdot 6515/2} = 32 \text{ см}.$$

ПОДБОР СВАЙНЫХ ЯКОРЕЙ

Свайные якоря применяются для крепления различных элементов такелажной оснастки и представляют собой одну или несколько деревянных (бревенчатых) или металлических (из труб, швеллеров или двутавров) свай, вбитых в грунт и связанных между собой канатами.

В зависимости от усилия, действующего на бревенчатый якорь, выбирают схему его конструкции (рис. 23) и по табл. 6 определяют основные конструкционные размеры его элементов. Металлические якоря подбирают также по следующей табл. 7.

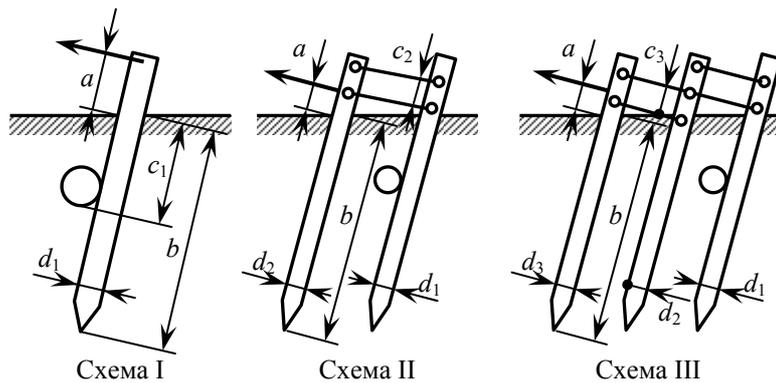


Рис. 23. Схемы свайных якорей

6. Размеры свайных якорей

Усилие в якорь, кН	a	b	Схема I		Схема II		Схема III	
			c ₁	b ₁	c ₂	b ₂	c ₃	b ₃
10	300	1500	400	180	—	—	—	—
15	300	1500	400	200	—	—	—	—
20	300	1500	400	260	—	—	—	—
30	300	1500	400	200	900	220	—	—
40	300	1500	400	220	900	250	—	—
50	300	1500	400	240	900	260	—	—
60	300	1500	400	200	900	220	900	280
80	300	1500	400	220	900	250	900	300
100	300	1500	400	240	900	260	900	330

7. Характеристика стальных свайных якорей из труб или сваренных между собой полками двух швеллеров или двутавров

Профиль	Размеры сечения или номер профиля	Длина свай, мм	Усилие на якорь, кН
---------	-----------------------------------	----------------	---------------------

Труба	219/8	2500	30
Швеллер	22	2400	30
	27	2650	50
Двутавр	18	2500	30
	22	2950	50

РАСЧЁТ МАЧТ

В монтажной практике нашли применение мачты грузоподъёмностью до 500 т и высотой до 60 м, а при использовании их в спаренном виде возможен подъём массой до 1000 т с отрывом их от грунта и массой до 1500 т без отрыва от грунта.

Монтажные мачты могут использоваться в разных вариантах, например, в вертикальном и наклонном положении; с оттяжкой и без оттяжки груза; с двумя полиспастами, расположенными симметрично, и с одним полиспастом, подвешенным на консоли.

Расчёт мачт для этих вариантов имеет свои особенности:

- 1) общие расчёты для типов мачт:
 - расчёт минимальной высоты мачты;
 - расчёт суммарных сжимающих усилий, действующих по оси мачты;
 - расчёт изгибающих моментов (кроме мачт с симметричной нагрузкой);
- 2) расчёты, относящиеся к определённому типу мачты:
 - расчёт трубчатой симметрично нагруженной мачты;
 - расчёт трубчатой консольно нагруженной или наклонной мачты;
 - расчёт решётчатой симметрично нагруженной мачты;
 - расчёт решётчатой консольно нагруженной или наклонной мачты.

Определение минимальной высоты монтажной мачты. Минимальная высота мачты (м) определяется следующим образом:

- при подъёме оборудования способом скольжения с отрывом от земли (рис. 24, а)

$$H = h_{\phi} + h_3 + h_o + h_c + h_{\pi} + h_{ог}$$

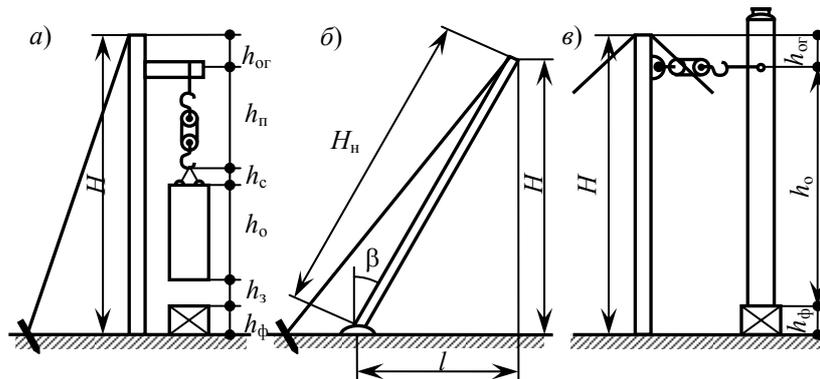


Рис. 24. Расчётные схемы высоты монтажной мачты

где h_{ϕ} – высота фундамента, м; h_3 – запас высоты над фундаментом (в среднем $h_3 = 0,5$ м); h_o – расстояние от основания аппарата до места строповки, м; h_c – высота стропы, м (задаются в зависимости от поперечных габаритов оборудования и способа строповки); h_{π} – высота полиспаста в стянутом виде, м (определяется по прил. 8 в зависимости от грузоподъёмности); $h_{ог}$ – высота оголовка мачты, м (зависит от конструкции оголовка и составляет обычно 0,5...1,0);

- при подъёме оборудования способом поворота вокруг шарнира (рис. 24, в)

$$H = h_{\phi} + h_o + h_{ог}$$

В этом случае высота мачты подбирается из расчёта, при котором положение подъёмного полиспаста будет близким к горизонтальному при проектном положении поднимаемого оборудования.

Высоту наклонной мачты определяют с учётом угла наклона мачты к вертикали β (рис. 24, б)

$$H_{н} = H / \cos \beta$$

Нахождение суммарного сжимающего усилия, действующего по оси мачты. В зависимости от способа использования мачт сжимающее усилие, кН, направленное по оси мачты, определяется по одной из следующих формул:

- для вертикальной мачты с двумя полиспастами, расположенными симметрично (рис. 25, а)

$$N = 10G_o k_{\pi} k_d + 20G_{г.л.} k_{\pi} + 10G_m k_{\pi} + 2S_{\pi} + S_{н.в};$$

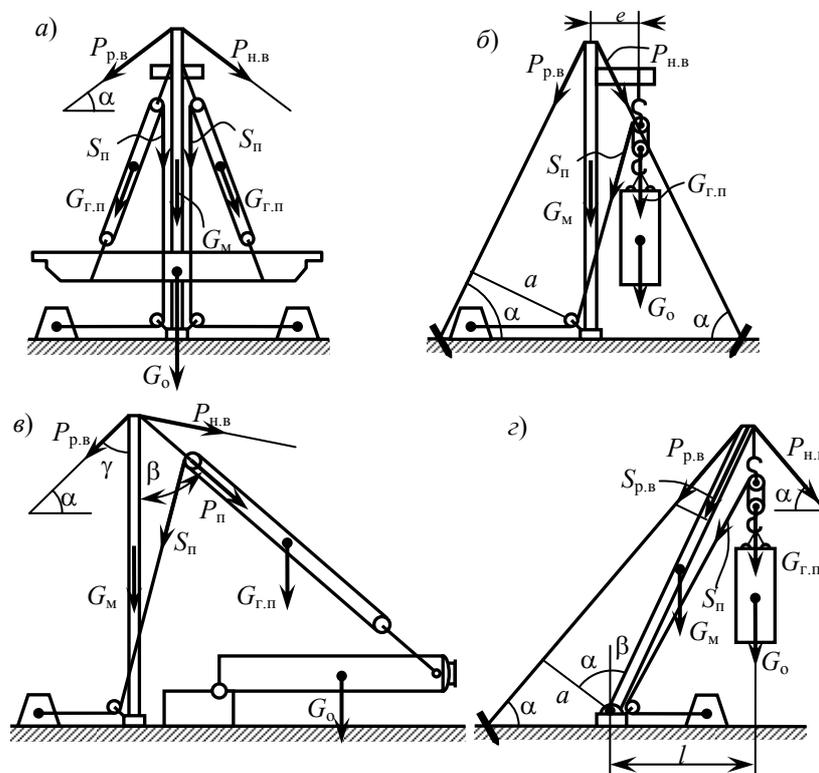


Рис. 25. Расчётные схемы монтажных мачт

- для вертикальной мачты с одним полиспастом, подвешенным на консоли (рис. 25, б)

$$N = 10G_0k_{\text{п}}k_{\text{д}} + 10G_{\text{г.п}}k_{\text{п}} + 10G_{\text{м}}k_{\text{п}} + S_{\text{п}} + S_{\text{н.в}} + S_{\text{р.в}} ;$$
- для вертикальной мачты с одним полиспастом, направленным к мачте под углом (рис. 25, в)

$$N = P_{\text{п}}k_{\text{п}}k_{\text{д}} \cos \beta + 10G_{\text{г.п}}k_{\text{п}} + 10G_{\text{м}}k_{\text{п}} + S_{\text{п}} + S_{\text{н.в}} + S_{\text{р.в}} ;$$
- для наклонной мачты с одним полиспастом, подвешенным на консоли (рис. 25, з)

$$N = 10G_0k_{\text{п}}k_{\text{д}} \cos \beta + 10G_{\text{г.п}} \cos \beta + 5G_{\text{м}}k_{\text{п}} \cos \beta + S_{\text{п}} + S_{\text{н.в}} + S_{\text{р.в}} ,$$

где G_0 – масса поднимаемого оборудования, т; $G_{\text{г.п}}$ – масса грузового полиспаста, т (получается путём расчёта); $G_{\text{м}}$ – масса мачты, т (определяем вначале ориентировочно): для трубчатой мачты, используя прил. 15, подбираем сечение стальной трубы, а по прил. 7 находим массу 1 м трубы g^T для этого сечения $G_{\text{м}} = g^T H$; для решётчатой – в зависимости от G_0 и H по формуле $G_{\text{м}} = (0,002...0,005)G_0H$, для схемы подъёма (рис. 25, в) $G_{\text{м}} = (0,0002...0,0005)1,5P_{\text{п}}H$; $P_{\text{п}}$ – усилие в грузовом полиспасте, кН (находится расчётом); $S_{\text{п}}$ – усилие в сбегающей ветви полиспаста, кН (определяется при расчёте полиспаста); $S_{\text{н.в}}$ – сжимающее усилие от нерабочих вант, кН (определяется по формулам: для вертикальной мачты $S_{\text{н.в}} = nP_{\text{н.в}} \sin \alpha$, для наклонной мачты $S_{\text{н.в}} = nP_{\text{н.в}} \sin(\alpha - \beta)$); n – количество нерабочих вант (величиной n задаётся); $P_{\text{н.в}}$ – усилие первоначального натяжения вант (определяется по прил. 17); α – угол наклона вант к горизонту (не более 45°); β – угол наклона мачты к вертикали (назначают в зависимости от необходимого вылета мачты l (рис. 25, з)); $S_{\text{р.в}}$ – сжимающее усилие от рабочей задней ванты, кН, которое найдётся:

– для вертикальной мачты с консольной подвеской полиспаста и с полиспастом, направленным под углом к мачте, по формуле

$$S_{\text{р.в}} = P_{\text{р.в}} \sin \alpha ;$$

- для наклонной мачты путём графического построения (рис. 25, з) или исходя из следующих соотношений:

β	5	10	15	20	25	30
$S_{\text{р.в}}$	$0,1P$	$0,2P$	$0,35P$	$0,5P$	$0,7P$	$0,9P$

где P – усилие, приложенное к оголовку мачты, кН, без учёта влияния нерабочих вант:

- для вертикальной мачты $P = 10G_0k_{\text{п}}k_{\text{д}} + 10G_{\text{г.п}}k_{\text{п}} + S_{\text{п}}$;
- для наклонной мачты $P = 10G_0k_{\text{п}}k_{\text{д}} + 10G_{\text{г.п}}k_{\text{п}} + 5G_{\text{м}}k_{\text{п}}$;

$P_{\text{р.в}}$ – усилие в рабочей задней ванте, кН:

- для вертикальной мачты с консольной подвеской полиспаста

$$P_{\text{р.в}} = Pe/a + P_{\text{н.в}} ;$$

- для вертикальной мачты с полиспастом, направленным под углом к мачте

$$P_{p.v} = P_n \sin \beta / \sin \gamma ;$$

- для наклонной мачты

$$P_{p.v} = Pl/a ;$$

e – эксцентриситет подвески полиспаста, м, равный расстоянию от оси мачты до точки подвески полиспаста (0,2...0,9 м); l – величина вылета мачты, м, $l = H_n \sin \beta$; a – расстояние от пяты мачты до задней ванты, м; для вертикальной мачты $a = H \cos \alpha$; для наклонной мачты $a = H_n \cos(\alpha + \beta)$, при этом угол заложения задней ванты α уменьшается с увеличением угла наклона мачты β и может быть найден из следующего соотношения:

β	0	5	10	15	20	25	30
α	45	42,5	40	37,5	35	32,5	30

β, α – углы между мачтой и полиспастом, мачтой и рабочей задней вантой (рис. 25, в) определяются расчётом.

Определение изгибающего момента в мачте. Изгибающий момент определяется для мачт с консольной подвеской полиспаста, когда суммарная сжимающая нагрузка не совпадает с продольной осью мачты, а также для наклонных мачт, изгибаемых под действием собственной массы.

Оба типа этих мачт подвергаются внецентренному сжатию, которое характеризуется одновременным воздействием на них продольного сжимающего усилия и изгибающего момента. Симметрично нагруженная вертикальная мачта работает на центральное сжатие, и изгибающий момент в ней отсутствует. Мачта с одним полиспастом, закреплённым на консоли в случае крепления рабочей задней ванты ко второй консоли, расположенной диаметрально, является симметрично нагруженной, и изгибающий момент в ней также отсутствует.

Изгибающие моменты (кН · см) подсчитываются для следующих случаев:

- для вертикальной мачты с консольной подвеской полиспаста:
в месте крепления полиспаста

$$M_0 = (10G_o k_n k_d + 10G_n k_n + S_n) e ;$$

в среднем сечении мачты на высоте 2/3 от её основания

$$M_{cp} = 2(10G_o k_n k_d + 10G_n k_n + S_n) e / 3 ;$$

- для наклонной мачты с консольной подвеской полиспаста:
в месте крепления полиспаста

$$M_0 = (10G_o k_n k_d \cos \beta + 10G_n k_n \cos \beta + S_n) e - 10G_m k_n l / 8 ;$$

в среднем сечении мачты на высоте 2/3 от её основания:

$$M_{cp} = 2(10G_o k_n k_d \cos \beta + 10G_n k_n \cos \beta + S_n) e / 3 - 10G_m k_n l / 8 ;$$

- для наклонной мачты при креплении полиспаста и задней рабочей ванты за симметрично расположенные консоли (изгибающий момент только от собственной массы мачты)

$$M = 10G_m k_n l / 8 .$$

В том случае, если сбегаящая ветвь полиспаста проходит внутри мачты, как это часто встречается в решётчатых мачтах, усилие в ней S_n при подсчёте изгибающего момента не учитывается.

Расчёт трубчатых мачт. Симметрично нагруженная мачта, работающая на центральное сжатие. Выполнив расчёты по определению минимальной высоты мачты H и суммарного сжимающего усилия N , как было указано выше, приступаем к расчёту поперечного сечения мачты и проверки её на устойчивость. Эта часть расчётов выполняется в следующем порядке.

1. Определяем требуемую площадь поперечного сечения мачты, см²

$$F_{тр} = N / (\varphi_0 m \cdot 0,1R),$$

где φ_0 – коэффициент продольного изгиба (ориентировочно назначается равным для стальной трубы $\varphi_0 = 0,4$); m – коэффициент условий работы (прил. 5), для монтажных мачт $m = 0,9$; R – расчётное сопротивление при сжатии для прокатной стали (прил. 2); для стали класса С38/23 $R = 210$ МПа.

2. Находим расчётную длину мачты, м

$$H_m = \mu H ,$$

где μ – коэффициент приведения расчётной длины (прил. 16). Для монтажной мачты $\mu = 1$.

3. По таблице ГОСТ (прил. 7) подбираем сечение стальной трубы (наружный диаметр и толщину стенки), определяя площадь сечения $F^T \geq F_{тр}$ (см²) и радиус инерции r^T (см).

4. Определяем гибкость мачты

$$\lambda = H_m / r^T \leq [\lambda],$$

где $[\lambda]$ – предельная гибкость (прил. 13), для трубной мачты $[\lambda] = 180$.

- По прил. 14 определяем коэффициент продольного изгиба φ , соответствующий расчётной гибкости λ .
- Полученное сечение трубы для мачты проверяем на устойчивость

$$N/(F^T \varphi) \leq mR.$$

При соблюдении данного неравенства прочность и устойчивость мачты будут обеспечены при условии, что расчётная гибкость λ меньше предельной $[\lambda]$. В противном случае необходимо подобрать другое сечение стальной трубы, обеспечивающее соблюдение этих условий.

Пример 25. Рассчитать высоту и сечение вертикальной трубчатой монтажной мачты для подъёма мостового крана массой $G_0 = 54$ т на подкрановые пути с высотной отметкой $h_\phi = 16$ м и высотой крана над подкрановыми путями $h_0 = 1,5$ м. Подъём выполняется двумя симметрично подвешенными полиспастами (рис. 25, а).

Решение.

- Задав размеры $h_3 = 0,5$ м, $h_c = 3$ м, $h_{ог} = 0,5$ м и определив по прил. 8 для 40-тонного полиспаста его длину в стянутом состоянии $h_{п} = 3,3$ м, находим минимальную высоту мачты

$$H = h_\phi + h_3 + h_0 + h_c + h_{п} + h_{ог} = 16 + 0,5 + 1,5 + 3 + 3,3 + 0,5 = 24,8 \text{ м.}$$

Принимаем высоту мачты $H = 25$ м.

- Рассчитываем полиспаст: определяем нагрузку на каждый полиспаст, приложенную к крюку нижнего подвижного блока

$$P_{п} = 10G_0/2 = 10 \cdot 54/2 = 270 \text{ кН;}$$

находим нагрузку на верхний неподвижный блок полиспаста

$$P_{н} = 1,15P_{п} = 1,15 \cdot 270 = 310 \text{ кН.}$$

Из прил. 8 выбираем для каждого полиспаста два блока грузоподъёмностью по 40 т с общим количеством роликов в полиспасте $m_{п} = 5 \cdot 2 = 10$ шт. с диаметром роликов $d_p = 400$ мм и массой двух блоков $G_6 = 670 \cdot 2 = 1340$ кг, а по табл. 2 определяем коэффициент полезного действия полиспаста с подшипниками качения и, принимая один отводной блок $\eta = 0,8$, производим следующие действия:

- подсчитываем усилия в сбегающей ветви полиспаста

$$S_{п} = P_{п}/(m_{п}\eta) = 270/(10 \cdot 0,8) = 34 \text{ кН;}$$

- находим разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста, определив по прил. 3 коэффициент запаса прочности $k_3 = 5$

$$R_k = S_{п}k_3 = 34 \cdot 5 = 170 \text{ кН;}$$

- по таблице ГОСТ (прил. 4) подбираем для оснастки полиспаста стальной канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80) с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа 1764
 разрывное усилие, кН 175,5
 диаметр каната, мм 18
 масса 1000 м каната, кг 1245

- подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста, задаваясь длиной сбегающей ветви $l_1 = 40$ м,

$$L = m_{п}(h + 3,14d_p) + l_1 + l_2 = 10(20 + 3,14 \cdot 0,4) + 40 + 10 = 263 \text{ м;}$$

- находим суммарную массу полиспаста

$$G_{п} = G_6 + G_k = G_6 + Lg_k/1000 = 1340 + 263 \cdot 1245/1000 = 1670 \text{ кг} = 1,7 \text{ т.}$$

- Подсчитываем суммарное сжимающее усилие, действующее по оси мачты, задаваясь количеством вант $n = 4$ и углом заложения вант $\alpha = 25^\circ$ при креплении их за колонны здания

$$\begin{aligned} N &= 10G_0k_{п}k_{д} + 20G_{п}k_{п} + 10G_{м}k_{п} + 2S_{п} + 2S_{н.в.} = \\ &= 10 \cdot 54 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 20 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 10 \cdot 3,6 \cdot 1,1 + 2 \cdot 34 + 42,3 = 840 \text{ кН,} \end{aligned}$$

где $G_{м} = g^T H = 142,25 \cdot 25 = 3556$ кг = 3,6 т (здесь g^T – масса 1 м стальной трубы, находим по прил. 7, определив предварительно по прил. 15 размер сечения трубы 426/14 мм);

$$S_{н.в.} = nP_{н.в.} \sin \alpha = 4 \cdot 25 \cdot 0,423 = 42,3 \text{ кН.}$$

- Определяем требуемую площадь поперечного сечения мачты

$$F_{тр} = N/(\varphi_0 m \cdot 0,1R) = 840/(0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,1 \cdot 210) = 111 \text{ см}^2.$$

- Находим расчётную длину мачты

$$H_{м} = \mu H = 1 \cdot 25 = 25 \text{ м.}$$

6. По прил. 7 подбираем сечение стальной трубы 426/14 с площадью сечения $F^T = 181 \text{ см}^2 > F_{\text{тр}}$ и радиусом инерции $r^T = 14,6 \text{ см}$.

7. Определяем гибкость мачты

$$\lambda = H_M / r^T = 2500 / 14,6 = 171 < [\lambda] = 180 .$$

8. По прил. 14 определяем коэффициент продольного изгиба $\varphi = 0,257$.

9. Полученное сечение мачты проверяем на устойчивость:

$$N / (F^T \varphi) \leq mR ;$$

$$840 / (181 \cdot 0,257) = 18 \text{ кН/см}^2 = 180 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 210 = 189 \text{ МПа}.$$

Соблюдение данного неравенства свидетельствуют об устойчивости расчётного сечения мачты.

Мачта с консольно закреплённым полиспастом и наклонная мачта, работающая на внецентренное сжатие.

Определив высоту мачты H , суммарно сжимающее усилие N и максимальный изгибающий момент M , как указано выше, производим расчёт поперечного сечения мачты и проверку её на устойчивость. Эти расчёты выполняются следующим образом.

1. Ориентируясь на данные прил. 15, назначаем приближённо наружный диаметр и толщину стенки стальной трубы, затем по прил. 7 для данного размера трубы определяем площадь её сечения

$$F^T = F_M ,$$

момент сопротивления сечения $W^T = W_M$ и радиус инерции $r^T = r_M$.

2. Находим расчётную длину мачты, см

$$H_M = \mu H ,$$

где μ – коэффициент приведения расчётной длины (прил. 16). Для монтажной мачты $\mu = 1$.

3. Определяем гибкость мачты

$$\lambda_M = H_M / r_M \leq [\lambda] ,$$

где $[\lambda]$ – предельная гибкость (прил. 13), для трубной мачты $[\lambda] = 180$.

4. Находим условную гибкость в плоскости действия изгибающего момента

$$\bar{\lambda}_M = \lambda_M \sqrt{R/E} ,$$

где R – расчётное сопротивление при сжатии для прокатной стали (прил. 2); для стали класса С38/23 $R = 210 \text{ МПа}$; E – модуль упругости; для стали $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 2,1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2$.

5. Вычисляем эксцентриситеты:

– относительный $m_o = e F_M / W_M$;

– приведённый $m_{\text{п}} = m_o \eta$,

где e – эксцентриситет приложения силы, см, $e = M / N$; M – максимальный изгибающий момент; η – коэффициент влияния формы сечения (принимается по табл. 8).

6. По прил. 18 в зависимости от условий гибкости $\bar{\lambda}$ и приведённого эксцентриситета $m_{\text{п}}$ принимаем коэффициент внецентренного продольного изгиба $\varphi^{\text{вн}}$.

7. Проверяем устойчивость мачты в плоскости действия изгибающего момента

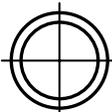
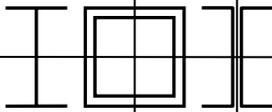
$$N / (F_M \varphi^{\text{вн}}) \leq mR ,$$

где m – коэффициент условий работы (прил. 5), для монтажных мачт $m = 0,9$.

Данное неравенство свидетельствует об устойчивости мачты. Рассчитанная гибкость λ при этом должна быть не более предельной $[\lambda]$. В противном случае выбирается другое сечение стальной трубы, при котором оба этих условия соблюдаются.

Пример 26. Рассчитать высоту и сечение вертикальной трубчатой мачты для подъёма цилиндрического вертикального аппарата массой $G_o = 34 \text{ т}$ и высотой $h_o = 10 \text{ м}$ на постамент высотой $h_{\text{ф}} = 4 \text{ м}$. Подъём осуществляется одним полиспастом, подвешенным на консоли длиной $l = 200 \text{ мм}$ у оголовка (рис. 25, б).

8. Значения коэффициента влияния формы сечения

Схема сечения	$0,1 \leq \bar{\lambda} \leq 5$		$\bar{\lambda} > 5$
	$0,1 \leq m_0 \leq 5$	$5 \leq m_0 \leq 20$	$0,1 \leq m_0 \leq 0,2$
	$1,3 - 0,6\bar{\lambda}$	$1,2 - 0,04\bar{\lambda}$	1
	$1,75 - 0,13\bar{\lambda}$	$1,5 - 0,08\bar{\lambda}$	1,1

Решение.

1. Находим минимальную высоту мачты, задавшись размерами $h_3 = 0,5$ м, $h_c = 1,5$ м, $h_{ог} = 0,5$ м и определив по прил. 8 $h_{п} = 3,3$ для 40-тонного полиспаста:

$$H = h_{ф} + h_3 + h_o + h_c + h_{п} + h_{ог} = 4 + 0,5 + 10 + 1,5 + 3,3 + 0,5 = 19,8 \text{ м.}$$

Принимаем высоту мачты $H = 20$ м.

2. Рассчитываем полиспаст: находим нагрузку на верхний неподвижный блок полиспаста, учитывая, что нагрузка на подвижный блок:

$$P_{п} = 10G_o = 10 \cdot 34 = 340 \text{ кН;}$$

$$P_{н} = 1,15P_{п} = 1,15 \cdot 340 = 391 \text{ кН;}$$

из прил. 8 выбираем для полиспаста два блока грузоподъёмностью по 40 т с общим количеством роликов $m_{п} = 2 \cdot 5 = 10$ шт. с диаметром роликов $d_p = 400$ мм и массой двух блоков $G_6 = 2 \cdot 670 = 1340$ кг, а по табл. 2 определяем коэффициент полезного действия полиспаста с подшипниками качения и, принимая один отводной блок $\eta = 0,8$, производим следующие действия:

а) подсчитываем усилия в сбегающей ветви полиспаста

$$S_{п} = P_{п} / (m_{п} \eta) = 340 / (10 \cdot 0,8) = 42,5 \text{ кН;}$$

б) находим разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста, определив по прил. 3 коэффициент запаса прочности $k_3 = 5$

$$R_k = S_{п} k_3 = 42,5 \cdot 5 = 213 \text{ кН;}$$

по таблице ГОСТ (прил. 4) подбираем для оснастки полиспаста стальной канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80) с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа 1764
 разрывное усилие, кН 215
 диаметр каната, мм 20
 масса 1000 м каната, кг 1520

в) подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста, задаваясь длиной сбегающей ветви $l_1 = 35$ м,

$$L = m_{п}(h + 3,14d_p) + l_1 + l_2 = 10(20 + 3,14 \cdot 0,4) + 35 + 10 = 258 \text{ м.}$$

г) находим суммарную массу полиспаста

$$G_{п} = G_6 + G_k = G_6 + Lg_k / 1000 = 1340 + 258 \cdot 1520 / 1000 = 1732 \text{ кг} = 1,7 \text{ т.}$$

3. Подсчитываем сжимающее усилие, действующее на мачту, задавшись количеством вант $n = 3$ (из них одна задняя рабочая) и углом заложения вант $\alpha = 45^\circ$

$$N = 10G_o k_{пд} + 10G_{п} k_{п} + 10G_{м} k_{п} + S_{п} + S_{н.в} + S_{р.в} = \\ = 10 \cdot 34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 10 \cdot 2,6 \cdot 1,1 + 42,5 + 21,2 + 15,3 = 538 \text{ кН,}$$

где $G_{м} = g^T H = 132,19 \cdot 20 = 2444$ кг = 2,6 т (здесь g^T – масса 1 м стальной трубы, находим по прил. 7, определив предварительно ориентировочно по прил. 15 размер сечения трубы 351/16 мм);

$$S_{н.в} = nP_{н.в} \sin \alpha, \quad S_{р.в} = P_{р.в} \sin \alpha :$$

$$S_{н.в} = 2 \cdot 15 \cdot 0,707 = 21,2 \text{ кН;} \quad S_{р.в} = 21,7 \cdot 0,707 = 15,3 \text{ кН;}$$

$$P_{p.в} = \frac{Pe}{a} + P_{н.в} = \frac{(10G_o k_{п} k_{д} + 10G_{п} k_{п} + S_{п})e}{H \cos \alpha} + P_{н.в} =$$

$$= \frac{(10 \cdot 34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 42,5) \cdot 0,2}{20 \cdot 0,707} + 15 = 21,7 \text{ кН.}$$

4. Находим изгибающие моменты, действующие на мачту:
 – в месте крепления полиспаста

$$M_0 = (10G_o k_{п} k_{д} + 10G_{п} k_{п} + S_{п})e =$$

$$= (10 \cdot 34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 42,5)20 = 9450 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

- в среднем сечении мачты на высоте 2/3 от её основания

$$M_{ср} = 2(10G_o k_{п} k_{д} + 10G_{п} k_{п} + S_{п})e/3 =$$

$$= 2(10 \cdot 34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 42,5) \cdot 20/3 = 6300 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

5. По прил. 7 для выбранного ранее сечения стальной трубы 351/16 мм определяем площадь сечения $F^T = F_M = 168 \text{ см}^2$, момент сопротивления сечения $W^T = W_M = 1349 \text{ см}^3$ и радиусом инерции $r^T = r_M = 11,9 \text{ см}$.

6. Находим расчётную длину мачты

$$H_M = \mu H = 1 \cdot 2000 = 2000 \text{ см.}$$

7. Определяем гибкость мачты

$$\lambda_M = H_M / r_M = 2000 / 11,9 = 168 < [\lambda] = 180.$$

8. Находим условную гибкость мачты

$$\overline{\lambda}_M = \lambda_M \sqrt{R/E} = 168 \sqrt{210 / (2,1 \cdot 10^5)} = 5,3.$$

9. Вычисляем эксцентриситеты:

- относительный $m_o = eF_M / W_M = 17,6 \cdot 168 / 1349 = 2,2$

(здесь $e = M_o / N = 9450 / 538 = 17,6$);

- приведённый $m_{п} = m_o \eta = 2,2 \cdot 1 = 2,2$.

10. По прил. 18 находим коэффициент продольного изгиба $\varphi^{BH} = 0,180$.

11. Проверяем мачту на устойчивость:

$$N / (F_M \varphi^{BH}) \leq mR;$$

$$538 / (168 \cdot 0,180) = 17,8 \text{ кН} \cdot \text{см}^2 = 178 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 210 = 189 \text{ МПа.}$$

Соблюдение данного неравенства свидетельствует об устойчивости расчётного сечения мачты.

РАСЧЁТ МОНТАЖНЫХ ПОРТАЛОВ

Монтажные порталы широко используются при монтаже высотного тяжеловесного технологического оборудования и конструкций, особенно со значительными поперечными размерами. Они представляют собой две стойки с шарнирными опорами, соединёнными наверху ригелем, к которому закреплены грузовые полиспасты. Стойки порталов выполнены из секций разной длины, собираются на фланцах (для трубчатого сечения) или на болтах с накладками (для решётчатого сечения).

Трубчатые порталные подъёмники применяются грузоподъёмностью до 40 т, высотой до 25 м, пролётом до 14 м, сечение стоек от 273/8 до 426/12 мм; решётчатые порталные подъёмники грузоподъёмностью до 500 т, высотой до 64 м, пролётом до 31 м, сечение стойки от 1 × 1 м до 1,8 × 1,8 м, масса подъёмника 20...100 т.

Расчёт портала сводится к следующему (рис. 26).

1. Определяем минимальную высоту портала H (м) аналогично монтажной мачте.
2. Подсчитываем усилие, действующее на каждый полиспаст, кН

$$P = 10G_o / n,$$

где G_o – масса поднимаемого оборудования, т; n – количество грузовых полиспастов. По усилию P рассчитывают грузовые полиспасты.

3. Находим усилие, действующее на ригель в точке подвески полиспаста, кН

$$P_p = P k_{п} k_{д} + 10G_{г.п} k_{п} + S_{п},$$

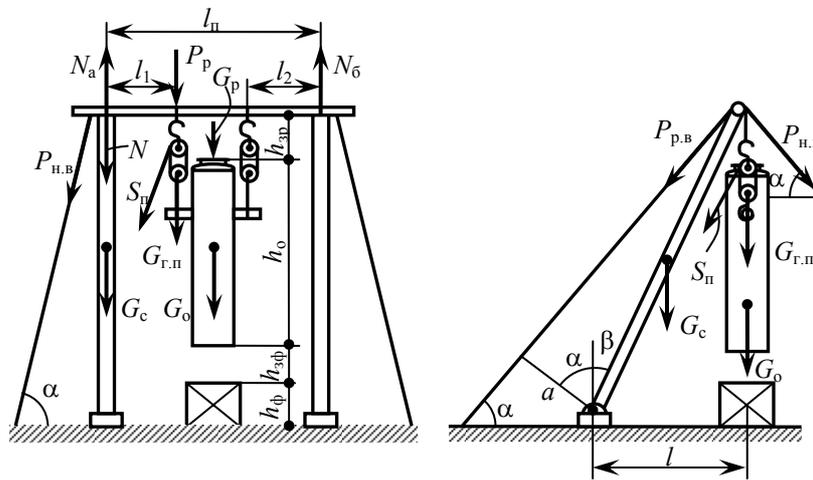


Рис. 26. Расчётная схема монтажного портала

где $G_{г.п}$ – масса грузового полиспаста, т; $S_{п}$ – усилие в сбегающей ветви полиспаста, кН (учитывается в случае схода сбегающей ветви с верхнего блока вниз); эти величины получают при расчёте полиспаста.

4. Подсчитываем максимальный изгибающий момент в ригеле (кН · см) по одной из формул, приведённых ранее. Так, для случая, изображённого на рис. 26, изгибающий момент найдётся по формулам:

– без учёта собственной массы ригеля

$$M_{\max} = P_p l_1;$$

– с учётом собственной массы ригеля при значительных пролётах портала,

$$M_{\max} = P_p l_1 + 10 g_0 l_n^2 / 8,$$

где l_1 – плечо подвески полиспаста, см; g_0 – масса 1 м ригеля (величиной g_0 задаёмся исходя из данных, приведённых в табл. 9); l_n – величина пролёта портала, см (задаётся в зависимости от поперечных размеров поднимаемого оборудования и необходимости его перемещения в плоскости портала).

5. Вычисляем требуемый момент сопротивления поперечного сечения ригеля, см³

$$W_{тр} = M_{\max} / (mR),$$

9. Зависимость изгибающего момента от g

g , т	M_{\max} , кН · см
0,015	До 1000
0,04	1500...3000
0,07	3000...8000
0,10	8000...15 000
0,16	15 000...45 000
0,18	45 000...60 000
0,20	60 000...75 000
0,22	75 000...100 000

где m – коэффициент условий работы (прил. 5), для порталов $m = 0,9$; R – расчётное сопротивление при изгибе (прил. 2), для стали класса С 38/23 $R = 210$ МПа.

6. Определяем максимальный прогиб ригеля (см) по формулам, приведённым в табл. 5. Так, для случая, изображённого на рис. 26, прогиб найдётся по формулам:

– без учёта собственной массы ригеля

$$f = \frac{P_p l_1^3}{27 E I_x} \left(\frac{3 l_n^2}{l_1^2} - 4 \right) \leq [f];$$

– с учётом собственной массы ригеля

$$f = \frac{P_p l_1^3}{27 E I_x} \left(\frac{3 l_n^2}{l_1^2} - 4 \right) + \frac{5}{384} \cdot \frac{10 g_0 l_n^4}{E I_x} \leq [f],$$

где E – модуль упругости; для стали $E = 2,1 \cdot 10^4$ кН/см²; $[f]$ – предельный прогиб ригеля (прил. 19).

7. Находим максимальную опорную реакцию N_a или N_b (кН) от действия ригеля на стойку портала по одной из формул (табл. 5), для случая, изображённого на рис. 26

$$N_a = N_b = P_p + 10G_p k_{п} / 2,$$

где G_p – масса ригеля, $G_p = g_0 l_{п}$ (здесь $l_{п}$ – в метрах).

8. Определяем суммарное сжимающее усилие (кН), действующее по оси каждой стойки портала с учётом наибольшей опорной реакции N_a или N_b . Если $N_a = N_b$, то:

– для вертикального портала

$$N = N_a + 10G_o k_{п} + S_{н.в};$$

– для портала, наклонного в вертикали на угол β ,

$$N = N_a \cos \beta + 5G_c k_{п} \cos \beta + S_{н.в} + S_{р.в},$$

где G_c – масса стойки портала, т (определяется вначале ориентировочно аналогично монтажной мачте; для трубчатой стойки – по прил. 7 и 15, для решётчатой – по формуле $G_c = (0,002...0,005)0,5G_0 H$; $S_{н.в}$ и $S_{р.в}$ – сжимающие усилия от нерабочих вант и от рабочей (задней) ванты (определяется как для монтажных мачт).

9. Для наклонного портала подсчитываем изгибающий момент в среднем сечении стойки, кН · см

$$M_p = 10G_c k_{п} l / 8,$$

где l – вылет портала, см.

10. Дальнейший расчёт стойки портала ведут аналогично трубчатым или решётчатым вертикальным или наклонным монтажным мачтам.

РАСЧЁТ МОНТАЖНЫХ ШЕВРОВ

Шевры нашли широкое применение в монтажной практике как для монтажа промышленного оборудования, так и для погрузочно-разгрузочных работ. Шевр представляет собой А-образную раму, состоящую из двух сборно-разборных трубчатых или решётчатых стоек, снабжённых шарнирными опорами и соединённых поверху коротким ригелем. К ригелю закрепляются два полиспаста, один – для подъёма груза, другой – для изменения вылета шевра (рис. 27, а) или его опрокидывания, если шевр используется как падающий (рис. 27, б).

Стойки образуют между собой небольшой угол ($20...25^\circ$). Ригель шевра может крепиться к стойкам жёстко или быть съёмным. Шевры используются грузоподъёмностью до 250 т, высотой до 35,5 м.

Расчёт шевра ведётся в следующем порядке (рис. 27).

1. Определяем минимальную высоту H (м) аналогично монтажной мачте с учётом максимально необходимого угла его наклона к вертикали. Минимальная высота падающего шевра допускается равной 0,6 расстояния от оси основания монтируемого оборудования до его центра массы.

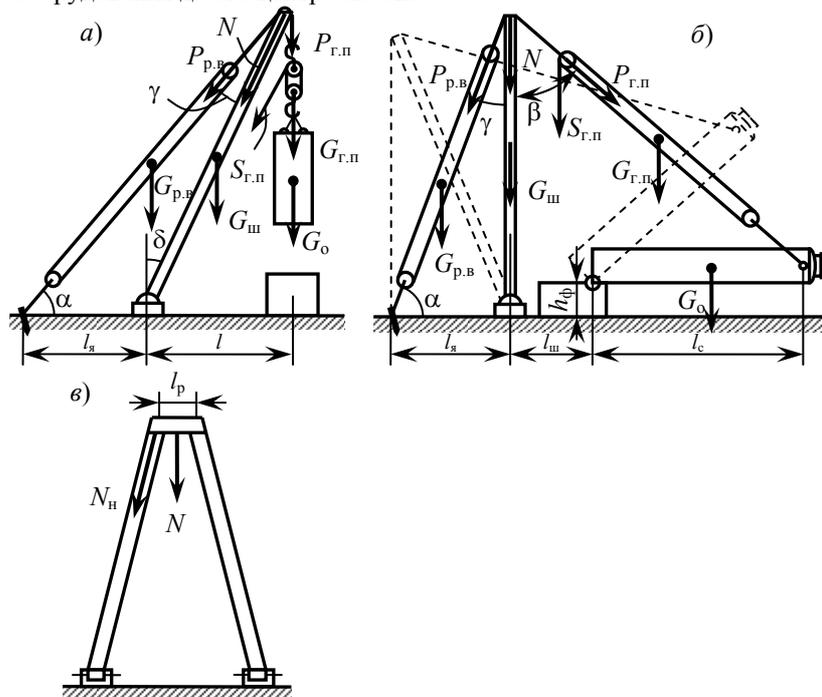


Рис. 27. Расчётная схема шевра

2. Подсчитываем усилие $P_{р.п}$ (кН) на грузовой полиспаст. Для наклонного шевра при подъёме оборудования оно соответствует массе этого оборудования, для вертикального шевра при подъёме оборудования поворотом вокруг

шарниров это усилие рассчитывается, как и при подъёме оборудования методом поворота вокруг шарнира монтажными мачтами. По найденному усилию выполняется расчёт грузового полиспаста.

3. Подсчитываем усилие $P_{p.в}$ (кН) на полиспаст задней ванты так же, как для вертикальной или наклонной монтажной мачты. По этому усилию выполняется расчёт полиспаста.

4. Определяем суммарное сжимающее усилие, действующее вдоль шевра, кН:

– для вертикального шевра

$$N = P_{г.п} k_{п} k_{д} \cos \beta + P_{p.в} k_{п} k_{д} \cos \gamma + 5G_{p.в} k_{п} + 10G_{г.п} k_{п} + 10G_{ш} k_{п} + S_{г.п};$$

– для наклонного шевра

$$N = 10G_o k_{п} k_{д} \cos \delta + 10G_{г.п} k_{п} \cos \delta + 5G_{p.в} k_{п} \cos \delta + 5G_{ш} k_{п} \cos \delta + S_{г.п} + P_{p.в} \cos \gamma,$$

где $G_{ш}$ – масса шевра, т (определяется вначале ориентировочно): для трубчатого сечения в зависимости от грузоподъёмности шевра G – по формуле $G_{ш} = (0,08...0,15)G$, для решётчатого сечения с учётом грузоподъёмности шевра G и его высоты $H_{ш}$ – по формуле $G_{ш} = (0,003...0,005)GH_{ш}$, при этом большее значение коэффициента назначается для шевров меньшей грузоподъёмности; $G_{г.п}$ и $G_{p.в}$ – массы грузового полиспаста и рабочей задней ванты, т (получаются при их расчёте); G_o – масса поднимаемого оборудования, т; $S_{г.п}$ – усилие в сбегающей ветви грузоподъёмного полиспаста, кН (получается при его расчёте); β – угол между шевром и грузовым полиспастом, для наклонного шевра соответствует углу его наклона к вертикали δ , который получаем в зависимости от необходимого вылета шевра l , а для вертикального шевра – находим графически путём построения схемы в масштабе или по формуле

$$\operatorname{tg} \beta = (l_c + l_{ш}) / (H - h_{ф}),$$

где l_c – расстояние от места строповки оборудования до его основания; $l_{ш}$ – расстояние от поворотного шарнира до оси шевра; $h_{ф}$ – высота фундамента; γ – угол между шевром и рабочей задней вантой, получаем графически, задаваясь расстоянием от основания шевра до якоря задней ванты $l_{я}$ с углом её заложения α не менее 45° или по формулам:

– для вертикального шевра $\operatorname{tg} \gamma = l_{я} / H$;

– для наклонного $\gamma = 180 - 90 - (\alpha + \beta)$.

5. Находим сжимающее усилие в стойке шевра, кН

$$N_c = N / 2.$$

6. Для наклонного шевра определяем сгибающий момент в стойке шевра от собственной массы, кН · см

$$M_0 = 10G_c l / 8,$$

где G_c – масса стойки шевра, кг, $G_c = G_{ш} / 2$; l – вылет шевра, см (определяется по формуле $l = H_{ш} \sin \delta$).

7. В дальнейшем расчёт сечения стоек ведётся как для вертикальной или наклонной монтажной трубчатой мачт.

8. Находим суммарное усилие P_p , действующее на ригель, считая, что полиспасты закреплены посередине ригеля.

Это усилие проще всего найдётся графически (рис. 28).

9. Определяем изгибающий момент в ригеле шевра (кН · см), пренебрегая массой самого ригеля, по одной из формул, приведённых в табл. 5. Так, задаваясь длиной ригеля l_p , при креплении полиспастов посередине ригеля изгибающий момент находим по формуле

$$M_p = P_p l_p / 4.$$

10. Вычисляем требуемый момент сопротивления поперечного сечения ригеля, см³

$$W_{тр} = M_p / (m \cdot 0,1R),$$

где m – коэффициент условий работы (прил. 5), для шевра $m = 0,9$; R – расчётное сопротивление при изгибе (прил. 2), для стали класса С 38/23 $R = 210$ МПа.

11. По таблице ГОСТ (прил. 7) подбираем сечение трубы с $W_x^T \geq W_{тр}$.

Пример 27. Рассчитать монтажный трубчатый колонный шевр для подъёма аппарата массой $G_o = 42$ т и высотой $h_0 = 15$ м на постамент высотой $h_{ф} = 4$ м при строповке его за вершину при максимальном угле наклона шевра к вертикали $\delta = 15^\circ$.

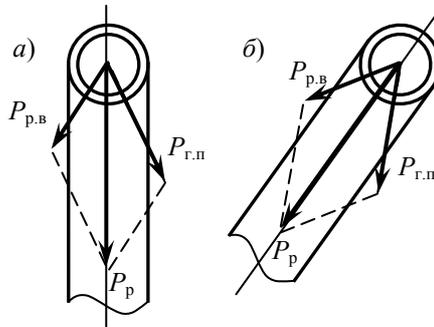


Рис. 28. Расчётная схема ригеля шевра

Решение.

1. Определяем минимальную высоту шевра с учётом угла наклона шевра к вертикали, задавшись размерами $h_3 = 0,5$ м и $h_c = 2$ м и определив по прил. 8 величину $h_n = 2,4$ м для полиспаста грузоподъёмностью 50 т

$$H_{ш} = H / \cos \delta = (h_{\phi} + h_3 + h_o + h_c + h_n) / \cos \delta = \\ = (4 + 0,5 + 15 + 2 + 2,4) / 0,966 = 24,7 \text{ м.}$$

Принимаем высоту шевра $H_{ш} = 25$ м.

2. Производим расчёт грузового полиспаста:

а) находим нагрузку на нижний подвижный блок полиспаста

$$P_{г.п} = 10G_o = 10 \cdot 42 = 420 \text{ кН;}$$

б) находим нагрузку на верхний неподвижный блок полиспаста

$$P_n = 1,15P_{г.п} = 1,15 \cdot 420 = 483 \text{ кН;}$$

в) из прил. 8 выбираем для грузового полиспаста два блока грузоподъёмностью по 50 т с общим количеством роликов в полиспасте $m_n = 5 \cdot 2 = 10$ шт. с диаметром роликов $d_p = 350$ мм и массой двух блоков $G_6 = 336 \cdot 2 = 672$ кг, а по табл. 2 определяем коэффициент полезного действия полиспаста с подшипниками качения и принимаем один отводной блок $\eta = 0,8$;

г) подсчитываем усилия в сбегающей ветви полиспаста

$$S_{г.п} = P_{г.п} / (m_n \eta) = 420 / (10 \cdot 0,8) = 52,5 \text{ кН;}$$

д) находим разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста, определив по прил. 3 коэффициент запаса прочности $k_3 = 5$,

$$R_k = S_{г.п} k_3 = 52,5 \cdot 5 = 262,5 \text{ кН;}$$

е) по таблице ГОСТ (прил. 4) выбираем для оснастки полиспаста стальной канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80) с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа	1960
разрывное усилие, кН	280,5
диаметр каната, мм	22
масса 1000 м каната, кг	1830

ж) подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста, задаваясь длиной сбегающей ветви $l_1 = 45$ м,

$$L = m_n(h + 3,14d_p) + l_1 + l_2 = 10(23 + 3,14 \cdot 0,35) + 45 + 10 = 296 \text{ м;}$$

з) находим массу грузового полиспаста

$$G_{г.п} = G_6 + G_k = G_6 + Lg_k / 1000 = 672 + 2296 \cdot 1830 / 1000 = 1,2 \text{ т.}$$

3. Производим расчёт полиспаста задней рабочей ванты. Порядок расчёта такой же, как у грузового полиспаста:

а) находим нагрузку на нижний блок полиспаста, закреплённый за якорь

$$P_{п.в} = \frac{Pl}{a} = \frac{(10G_o k_n k_d + 10G_{г.п} k_n + 5G_{ш} k_n) H_{ш} \sin \delta}{H_{ш} \cos(\alpha + \delta)} = \\ = \frac{(10 \cdot 42 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,2 \cdot 1,1 + 5 \cdot 7,5 \cdot 1,1) 25 \cdot 0,259}{25 \cdot 0,5} = 168 \text{ кН,}$$

где $G_{ш}$ – масса шевра, $G_{ш} = 0,15G = 0,15 \cdot 50 = 7,5$ т; G – грузоподъёмность шевра; α – угол заложения задней ванты (назначается $\alpha = 45^\circ$);

б) определяем нагрузку на верхний блок полиспаста, закреплённый за ригель шевра

$$P_n = 1,2P_{п.в} = 1,2 \cdot 168 = 201,6 \text{ кН;}$$

в) из прил. 8 выбираем для полиспаста задней ванты блоки грузоподъёмностью 25 т с общим количеством роликов в полиспасте $m_{\text{п}} = 3 \cdot 2 = 6$ шт. с диаметром роликов $d_{\text{р}} = 400$ мм и массой двух блоков $G_{\text{б}} = 331 \cdot 2 = 662$ кг и коэффициентом полезного действия полиспаста при одном отводном блоке $\eta = 0,866$;

г) подсчитываем усилие в сбегающей ветви полиспаста

$$S_{\text{п}} = P_{\text{р.в}} / (m_{\text{п}} \eta) = 168 / (6 \cdot 0,866) = 32,3 \text{ кН};$$

д) находим разрывное усилие

$$R_{\text{к}} = S_{\text{п}} k_3 = 32,3 \cdot 5 = 161,5 \text{ кН};$$

е) по таблице ГОСТ (прил. 4) выбираем для оснастки полиспаста стальной канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с. (ГОСТ 7668–80) с характеристиками:

временное сопротивление разрыву, МПа	1960
разрывное усилие, кН	165
диаметр каната, мм	16,5
масса 1000 м каната, кг	1045

ж) находим длину каната для оснастки полиспаста, задаваясь длиной полиспаста в растянутом виде $h = 20$ м и длиной сбегающей ветви $l_1 = 25$ м,

$$L = m_{\text{п}} (h + 3,14 d_{\text{п}}) + l_1 + l_2 = 6(20 + 3,14 \cdot 0,4) + 25 + 10 = 163 \text{ м};$$

з) находим массу полиспаста

$$G_{\text{р.в}} = G_{\text{б}} + G_{\text{к}} = G_{\text{б}} + L g_{\text{к}} / 1000 = 662 + 163 \cdot 1045 / 1000 = 0,8 \text{ т.}$$

4. Определяем суммарное сжимающее усилие, действующее вдоль шевра

$$\begin{aligned} N = 10G_0 k_{\text{п}} k_{\text{д}} \cos \delta + 10G_{\text{г.п}} k_{\text{п}} \cos \delta + 5G_{\text{р.в}} k_{\text{п}} \cos \delta + 5G_{\text{ш}} k_{\text{п}} \cos \delta + \\ + S_{\text{г.п.}} + P_{\text{р.в}} \cos \gamma = 10 \cdot 42 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,966 + 10 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 0,966 + \\ + 5 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,966 + 5 \cdot 7,5 \cdot 1,1 \cdot 0,966 + 52,5 + 168 \cdot 0,866 = 746 \text{ кН}, \end{aligned}$$

где $G_{\text{ш}}$ – масса шевра при его грузоподъёмности $G = 50$ т; $G_{\text{ш}} = 0,15G = 0,15 \cdot 50 = 7,5$ т; $\gamma = 180 - 90 - (\alpha + \delta) = 180 - 90 - (45 + 15) = 30^\circ$ при угле заложения задней ванты $\alpha = 45^\circ$.

5. Находим сжимающее усилие в каждой стойке шевра

$$N_{\text{с}} = N / 2 = 746 / 2 = 373 \text{ кН.}$$

6. Определяем изгибающий момент в стойке шевра от собственной массы

$$M_0 = 10G_{\text{с}} l / 8 = 10 \cdot 3,75 \cdot 650 / 8 = 3047 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

где $G_{\text{с}}$ – масса стойки шевра, кг; $G_{\text{с}} = G_{\text{ш}} / 2 = 7,5 / 2 = 3,75$ т; l – вылет шевра, см; $l = H_{\text{ш}} \sin \delta = 25 \cdot 0,259 = 6,5 \text{ м} = 650 \text{ см}$.

В дальнейшем расчёт ведём аналогично трубчатой наклонной мачте.

7. Ориентируясь на данные прил. 15, подбираем предварительно для стойки шевра сечение стальной трубы 426/12 мм и по таблице ГОСТ (прил. 7) определяем расчётные данные для этой трубы: площадь сечения $F^{\text{T}} = F_{\text{с}} = 156 \text{ см}^2$, момент сопротивления сечения $W^{\text{T}} = W_{\text{с}} = 1572 \text{ см}^3$ и радиус инерции $r^{\text{T}} = r_{\text{с}} = 14,6 \text{ см}$.

8. Находим расчётную длину стойки шевра

$$H_{\text{с}} = \mu H_{\text{ш}} = 1 \cdot 25 = 25 \text{ м} = 2500 \text{ см},$$

9. Определяем гибкость стойки шевра

$$\lambda_{\text{с}} = H_{\text{с}} / r_{\text{с}} = 2500 / 14,6 = 171 < [\lambda_{\text{с}}] = 180.$$

10. Находим условную гибкость:

$$\bar{\lambda}_{\text{с}} = \lambda_{\text{с}} \sqrt{R/E} = 171 \sqrt{210 / (2,1 \cdot 10^5)} = 5,4.$$

11. Вычисляем эксцентриситеты:

– относительный $m_0 = e F_{\text{с}} / W_{\text{с}} = 8,2 \cdot 156 / 1572 = 0,8$;

– приведённый $m_{\text{п}} = m_0 \eta = 0,8 \cdot 1 = 0,8$,

где $e = M_{\text{с}} / N_{\text{с}} = 3047 / 373 = 8,2$.

12. По прил. 18 в зависимости от $\bar{\lambda}$ и $m_{\text{п}}$ находим коэффициент внецентренного продольного изгиба $\varphi^{\text{BH}} = 0,230$.

13. Проверяем стойку шевра на устойчивость:

$$N_{\text{с}} / F_{\text{с}} \varphi^{\text{BH}} \leq mR;$$

$$373 / 156 \cdot 0,230 = 10,4 \text{ кН} \cdot \text{см}^2 = 104 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 210 = 189 \text{ МПа}.$$

14. Находим графически суммарное усилие P_p , действующее на ригель, считая, что полиспасты закреплены посередине ригеля (рис. 28, б). Это усилие составит $P_p = 600$ кН.

15. Определяем изгибающий момент в ригеле шевра, пренебрегая массой самого ригеля и задавая его длиной $l_p = 1 \text{ м} = 100 \text{ см}$

$$M_p = P_p l_p / 4 = 600 \cdot 100 / 4 = 15000 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

16. Вычисляем требуемый момент сопротивления поперечного сечения ригеля

$$W_{тр} = M_p / (m \cdot 0,1R) = 15000 / (0,9 \cdot 0,1 \cdot 210) = 794 \text{ см}^3.$$

17. По таблице ГОСТ (прил. 7) подбираем стальную трубу сечением 325/12 мм с $W^T = 891 \text{ см}^3 > W_{тр} = 794 \text{ см}^3$.

РАСЧЁТ МОНТАЖНЫХ ТРЕНОГ

Для монтажа и ремонта относительно лёгкого оборудования (компрессоры, вентиляторы, насосы и т.п.) в закрытых помещениях при стеснённых условиях в тех случаях, когда отсутствует возможность использования более совершенных грузоподъёмных механизмов, часто применяются монтажные треноги, изготовленные обычно из стальных труб разных сечений. Расчёт треног (рис. 29) выполняется следующим образом.

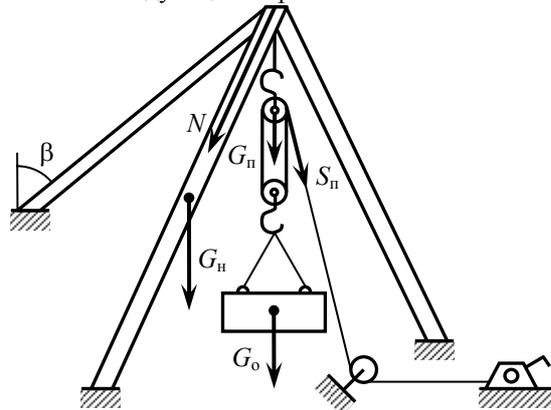


Рис. 29. Расчётная схема монтажной треноги

1. Определяем высоту ноги треноги H (м), как для наклонной монтажной мачты, исходя из высот фундамента h_ϕ , поднимаемого оборудования h_o , поднимаемого механизма h_n (полиспаста или талей) и длины стропа h_c .

2. Находим сжимающее усилие в каждой ноге треноги, наклонённой к вертикали под углом β , который задаётся исходя из поперечных размеров оборудования

$$N = (10G_o k_n k_d \cos \beta + 10G_n k_d \cos \beta) / 3 + 5G_n k_n \cos \beta + S_n,$$

где G_o – масса поднимаемого оборудования, т; G_n – масса полиспаста, т, полученная при его расчёте или талей (табл. 10); G_n – масса ноги треноги, т (определяется ориентировочно); S_n – усилие в сбегающей ветви полиспаста, идущей вдоль ноги треноги, кН (определяется при его расчёте).

10. Массы талей и тельферов

Наименование грузоподъёмного механизма	Масса механизмов, кг, при их грузоподъёмности, т					
	1	2	3,2	5	8	12,5
Тали червячные	32	–	75	145	270	410
Тали шестерёнчатые	30	50	70	125	170	–
Тельферы	245	360	560	815	–	–

Учитывая относительно небольшую высоту треноги и незначительный угол наклона её ног к вертикали, в практических расчётах изгибающим моментом от собственной массы ноги можно пренебречь.

3. Подсчитываем требуемую площадь поперечного сечения ноги треноги, см^2

$$F_{тр} = N / (\varphi_0 m \cdot 0,1R),$$

где φ_0 – коэффициент продольного изгиба (предварительно задаётся), для стальной трубы $\varphi_0 = 0,4$; m – коэффициент условий работы (прил. 5), для треног $m = 0,9$; R – расчётное сопротивление для прокатной стали (прил. 2), для стали класса С38/23 $R = 210$ МПа.

4. Находим расчётную длину ноги треноги

$$H_n = \mu H,$$

где μ – коэффициент приведения расчётной длины (прил. 16). Для треноги $\mu = 1$.

5. По таблице ГОСТ (прил. 7) подбираем сечение стальной трубы, определяя площадь сечения $F^T \geq F_{тр}$ (см²) и радиус инерции r^T (см).

6. Определяем гибкость ноги треноги

$$\lambda = H_n / r^T \leq [\lambda] = 180.$$

7. По прил. 14 определяем коэффициент продольного изгиба φ , соответствующий расчётной гибкости λ .

8. Полученное сечение трубы проверяем на устойчивость

$$N / (F^T \varphi) \leq mR.$$

Пример 28. Рассчитать трубчатую треногу для подъёма насоса массой $G_0 = 12$ т и высотой $h_0 = 2$ м с помощью талей на фундамент высотой $h_\phi = 1,5$ м.

Решение.

1. Определяем высоту ноги треноги, задавшись размерами $h_3 = 0,3$ м, $h_c = 1,5$ м, $h_n = 1,2$ м и углом наклона ноги треноги к вертикали $\delta = 15^\circ$

$$H = (h_\phi + h_3 + h_{ш} + h_c + h_n) \cos \delta = (1,5 + 0,3 + 2 + 1,5 + 1,2) \cdot 0,966 = 6,3 \text{ м.}$$

Принимаем высоту ноги треноги $H = 8$ м.

2. Находим сжимающее усилие в ноге треноги

$$\begin{aligned} N &= (10G_0 k_n k_d \cos \delta + 10G_n k_n \cos \delta) / 3 + 5G_n k_n \cos \delta + S_n = \\ &= (10 \cdot 12 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,966 + 10 \cdot 0,4 \cdot 1,1 \cdot 0,966) / 3 + \\ &+ 5 \cdot 0,2 \cdot 1,1 \cdot 0,966 + 0,08 = 50 \text{ кН,} \end{aligned}$$

где G_n – масса ноги треноги, $G_n = g^T H = 22,6 \cdot 8 = 200 \text{ кг} = 0,2 \text{ т}$, задавшись сечением стальной трубы 159/6 мм и определив по прил. 7 $g^T = 22,64 \text{ кг}$; S_n – усилие на приводной цепи талей, кН.

3. Подсчитываем требуемую площадь поперечного сечения ноги треноги

$$F_{тр} = N / (\varphi_0 m \cdot 0,1R) = 50 / (0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,1 \cdot 210) = 6,6 \text{ см}^2.$$

4. Находим расчётную длину ноги

$$H_n = \mu H = 1 \cdot 8 = 8 \text{ м.}$$

5. По таблице ГОСТ (прил. 7) для выбранного ранее сечения трубы 159/6 мм определяем площадь сечения $F^T = 28,8 \text{ см}^2 > F_{тр}$ и радиус инерции $r^T = 5,41 \text{ см}$.

6. Определяем гибкость ноги:

$$\lambda = H_n / r^T = 800 / 5,41 = 148 < [\lambda] = 180.$$

7. По прил. 14 определяем коэффициент продольного изгиба $\varphi = 0,328$.

8. Полученное сечение ноги треноги проверяем на устойчивость:

$$N / (F^T \varphi) \leq mR;$$

$$50 / (28,8 \cdot 0,328) = 5,3 \text{ кН/см}^2 = 53 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 210 = 189 \text{ МПа.}$$

РАСЧЁТ СТРЕЛЫ

Стрелы устанавливаются на строительных конструкциях здания и применяются в качестве основного грузоподъёмного механизма для монтажа оборудования при отсутствии грузоподъёмных кранов. Вертикальные и горизонтальные нагрузки от стрел передаются на основные узлы здания. Стрелы изготавливаются из бесшовных труб. Зона действия стрелы в горизонтальной плоскости – 180° , в вертикальной плоскости – в пределах угла наклона стрелы к горизонту $30 \dots 80^\circ$.

Расчёт стрелы сводится к следующему.

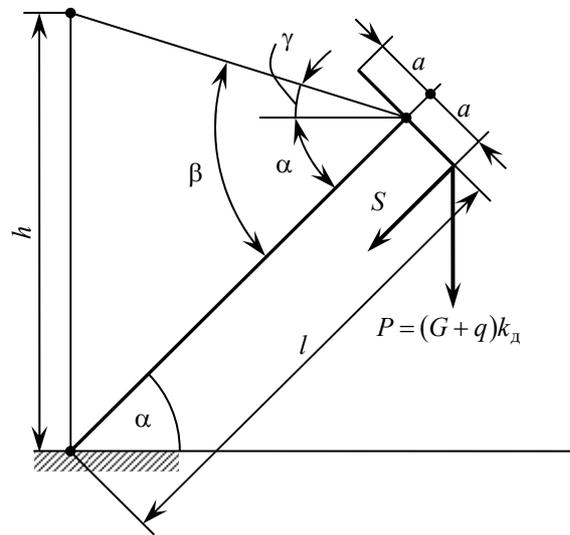


Рис. 30. Схема расчёта стрелы

1. Определяем усилие на завязку верхнего блока грузового полиспаста без учёта натяжения сбегающего конца каната, кН

$$P = (G + q)k_d,$$

где Q – масса поднимаемого груза, кг; q – масса оснастки, кг; k_d – коэффициент динамичности, равный $k_d = 1,1$.

2. Определяем усилие на полиспаст наклона стрелы, кН

$$T = \frac{\frac{Gl}{2} \cos \alpha + P \left(l \cos \alpha + a \sin \alpha + \frac{a}{m\eta} \right)}{l \sin \beta + a \cos \beta},$$

где G – масса стрелы, кг; l – длина стрелы, см; α – угол наклона стрелы к горизонту; a – плечо от точки прикрепления полиспаста до оси стрелы, см; n – число ниток грузового полиспаста; η – КПД грузового полиспаста, определяемое по табл. 2, ранее нами рассмотренной; $\beta = \gamma + \alpha$; γ определяется по формуле

$$\lg \gamma = \frac{h - l \sin \alpha - a \cos \alpha}{l \cos \alpha - a \sin \alpha}.$$

3. Определяем полное усилие вдоль оси стрелы, кН

$$S = P \sin \alpha + T \cos \beta + \frac{P}{m\eta}.$$

4. Определяем изгибающий момент, действующий на середине сечения стрелы

$$M = \frac{P}{m\eta} a + G \cos \alpha \frac{1}{8} + P \cos \alpha \frac{1}{2} + P \sin \alpha - T \cos \beta a - T \sin \beta \frac{1}{2}.$$

5. Определяем суммарное напряжение в среднем сечении стрелы

$$\sigma = \frac{S}{F\varphi} + \frac{G \sin \alpha}{F\varphi} + \frac{M}{W} \leq 1600 \text{ кН/см}^2,$$

где F – площадь поперечного сечения трубы, см^2 ; W – момент сопротивления сечения трубы, см^3 ; φ – коэффициент уменьшения допустимого напряжения.

6. Определяется наибольшая допустимая гибкость. Она равна $\lambda = 180$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин, Д.М. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств / Д.М. Гальперин, Г.В. Миловидов. – М. : ВО Агропромиздат, 1990. – 399 с.
2. Никитин, Н.В. Краткий справочник монтажника и ремонтника / Н.В. Никитин, Ю.Ф. Гаршин, С.Х. Меллер. – М. : Энергоиздат, 1983. – 168 с.
3. Лазарев, И.А. Ремонт и монтаж оборудования предприятий пищевой промышленности / И.А. Лазарев. – М. : Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. – 224 с.
4. Котляр, Л.И. Основы монтажа, эксплуатации и ремонта технологического оборудования / Л.И. Котляр. – М. : Колос, 1977. – 272 с.
5. Матвеев, В.В. Примеры расчёта такелажной оснастки / В.В. Матвеев. – Л. : Стройиздат, 1979. – 320 с.
6. Гайдамак, К.М. Слесарь по монтажу технологического оборудования химических заводов / К.М. Гайдамак. – М. : Стройиздат, 1968. – 207 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Предельные прогибы [f] элементов грузоподъёмных средств

Наименование элементов грузоподъёмных средств	Предельные прогибы в долях оси пролета
Подкрановые балки для ручных кранов	1/500
То же, для электрокранов грузоподъёмностью, т:	
до 50	1/600
50 и более	1/750
Пути кран-балок	1/500
Монорельсовые пути	1/400
Мостовые краны с ручным приводом	1/400
Мостовые краны с электроприводом	1/700
Электрические кран-балки	1/500
Монтажные балки грузоподъёмностью, т:	
до 50	1/600
50 и более	1/750
Ригели порталов, шевров	1/750

Приложение 2

Расчётные сопротивления прокатной стали

Напряжённое состояние	Условные обозначения	Расчётные сопротивления, МПа, для стали класса			
		C 38/23	C 44/29	C 46/33	C 52/40
Растяжение, сжатие, изгиб	R	210	260	290	340
Срез	$R_{ср}$	130	150	170	200

Расчётные сопротивления круглой прокатной стали для осей и шарниров

Напряжённое состояние	Условные обозначения	Расчётные сопротивления, МПа, для стали марок			
		Ст3	Ст5	45	40Х
Растяжение, сжатие, изгиб	R	210	230	300	400
Срез	$R_{ср}$	130	140	180	240
Диаметральное смятие в неподвижных шарнирных соединениях	$R_{см.шн}$	260	270	340	500
Диаметральное смятие в малоподвижных шарнирных соединениях	$R_{см.шм}$	160	170	220	30

Расчётные сопротивления сварных соединений

Сварные соединения	Напряжённое состояние	Условные обозначения	Расчётные сопротивления, МПа, сварных соединений в конструкциях из стали класса			
			С 38/23	С 44/29	С 46/33	С 52/40
Встык	Сжатие	$R_c^{св}$	210	260	290	340
	Растяжение при полуавтоматической и ручной сварке	$R_p^{св}$	180	220	250	340
	Срез	$R_{ср}^{св}$	130	150	170	200
Угловые швы	Срез	$R_y^{св}$	150	180	200	220

Приложение 3

Наименьший допускаемый коэффициент запаса прочности такелажных средств k_3

Назначение каната	Коэффициент запаса прочности k_3
Грузовые канаты:	
а) с ручным приводом	4,0
б) с машинным приводом:	
для лёгкого режима работы	5,0
для среднего режима работы	5,5
для тяжёлого режима работы	6,0
Канаты для полиспастов с изменяющейся длиной под нагрузкой:	
а) грузоподъёмностью от 5 до 50 т при соотношении D/d :	
от 13 до 16	5,0
от 16 и более	4,0
б) грузоподъёмностью от 50 до 100 т при соотношении D/d :	
от 13 до 16	4,0
от 16 и более	3,5
в) грузоподъёмностью 100 т и более при соотношении D/d :	
от 13 до 16	3,5
от 16 и более	3,0
Стропы:	
а) с обвязкой или зацепкой крюками или серьгами	6,0
б) витые стропы при соотношении D_3/d_c от 2 и более	5,0
в) полотнячатые стропы при соотношении D_3/d_c :	
от 3,5 до 6	5,5
от 6 и более	5,0
Расчалки, оттяжки, тяги при соотношении D_3/d_c :	
от 4 до 5	5,0
более 5 до 7	4,0
более 7 до 9	3,5
10 и более	3,0

Примечания: 1. Значение буквенных обозначений: D – диаметр ролика; d – диаметр каната; D_3 – диаметр захватного устройства (элемента, огибаемого стропом, расчалкой, тягой, крепящим канатом; d_c – диаметр витого стропа.

2. Лёгкий режим характеризуется работой каната на малых скоростях без рывков с числом изгибов на роликах не более четырёх, а тяжёлый – работой каната на больших скоростях, с рывками и числом изгибов на роликах более четырёх.

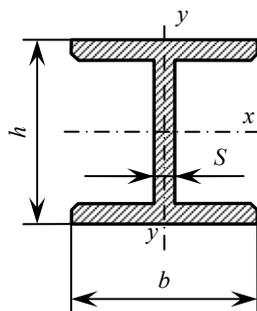
Канаты стальные (выдержки из ГОСТ)

Диаметр каната, мм	Масса 1000 м каната, кг	Маркировочная группа, МПС				
		1372	1568	1666	1764	1960
		Разрывное усилие, кН				
Канат типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$ о.с.						
13,5	697	–	90,6	96,3	101,5	109,0
15,0	812	–	104,5	111,5	116,5	128,0
16,5	1045	–	135,5	144,	150,0	165,0
18,0	1245	–	161,5	171,5	175,5	190,5
20,0	1520	–	197,5	210,0	215,0	233,5
22,0	1830	207,5	237,5	252,5	258,5	280,5
23,5	2130	242,5	277,0	294,0	304,0	338,0
25,5	2495	283,5	324,0	344,0	352,5	383,0
27,0	2800	318,5	364,5	387,5	396,5	430,5
29,0	3215	366,0	417,5	444,0	454,5	493,5
31,0	3655	416,0	475,0	505,0	517,0	561,5
33,0	4155	473,0	540,5	574,5	588,0	638,5
34,5	4550	518,0	592,0	629,5	644,5	700,0
36,5	4965	565,5	646,0	686,5	703,5	764,0
39,5	6080	692,5	791,5	841,0	861,0	935,0
42,0	6750	768,5	878,5	933,5	955,5	1030,0
43,0	7120	806,5	919,5	976,0	1005,0	1080,0
44,5	7770	885,0	1005,0	1065,0	1095,0	1185,0
50,5	9440	1130,0	1290,0	1370,0	1400,0	1510,0
53,5	11150	1265,0	1455,0	1540,0	1570,0	1705,0
56,0	12050	1365,0	1560,0	1640,0	1715,0	–
58,5	13000	1470,0	1685,0	1730,0	1790,0	–
60,5	14250	1625,0	1855,0	1915,0	1970,0	–
63,0	15200	1725,0	1970,0	2020,0	2085,0	–

Значение коэффициентов условий работы m

Наименование конструкции, элемента	Коэффициент m
1. Мачты, шевры, порталы, стрелы и т.п.	0,90
2. Грузозахватные приспособления	0,85
3. Эстакады, опоры, распорки, подкрановые пути, монтажные балки	0,85
4. Стойки, подпорки	0,90
5. Сжатые раскосы решётчатых конструкций из одиночных уголков, прикреплённых к поясам одной полкой сварной или болтами:	
а) при перекрёстной решётке, с совмещёнными в смежных гранях узлами	0,90
б) при треугольной и перекрёстной решётках с несовмещёнными в смежных гранях узлами	0,80
6. Сжатые элементы из одиночных уголков, прикреплённые одной полкой, за исключением элементов, указанных в п. 5.	0,75

Балки двуглавые



Номер балки	Размеры, мм			Площадь сечения F^d , см ²	Масса 1 м g^d , кг	Справочные величины для осей					
	h	b	S			$x-x$			$y-y$		
						I_x^d , см ⁴	W_x^d , см ³	r_x^d , см	I_y^d , см ⁴	W_y^d , см ³	r_y^d , см
10	100	55	4,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	14,7	11,50	350	58,4	4,88	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	17,4	13,70	572	81,7	5,73	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	20,2	15,90	873	109,0	6,57	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	82,6	18,40	1,88
18a	180	100	5,1	25,4	19,90	1430	159,0	7,51	114,0	22,80	2,12
20	200	100	5,2	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	115,0	23,10	2,07
20a	200	110	5,2	28,9	22,70	2030	203,0	8,37	155,0	28,20	2,32
22	220	110	5,4	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	157,0	28,60	2,27
22a	220	120	5,4	32,8	25,80	2790	254,0	9,22	206,0	34,30	2,50
24	240	120	5,6	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	198,0	34,50	2,37
24a	240	125	5,6	37,5	29,40	3800	317,0	10,10	260,0	41,60	2,63
27	270	125	6,0	40,2	31,5	5010	371,0	11,20	260,0	41,60	2,54
27a	270	135	6,0	43,2	33,90	5500	407,0	11,30	337,0	50,00	2,80
30	300	135	6,5	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	337,0	49,90	2,69
30a	300	145	6,5	49,9	39,20	7780	518,0	12,50	436,0	60,10	2,95
33	330	140	7,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	808,0	101,0	3,09
50	500	170	10,0	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1725,0	182,0	3,54

**Основные расчётные данные стальных бесшовных
горячедеформированных труб (по ГОСТ 8732–78)**

Диаметр, мм		Толщина стенки δ , мм	Площадь сечения F^T , см ²	Момент инерции I^T , см ⁴	Момент сопротивления W^T , см ³	Радиус инерции r , см	Масса 1 м g^T , кг
Наружный d_n	Внутренний d_v						
273	257	8	66,6	5853	429	9,37	52,28
	253	10	82,6	7157	525	9,31	64,86
	249	12	98,4	8398	615	9,23	77,24
	245	14	114,0	9582	702	9,18	89,42
	241	16	129,0	10710	785	9,12	101,14
	237	18	144,0	11780	863	9,04	113,20
	233	20	159,0	12800	938	8,97	124,79
159	147	6	28,8	845	106	5,41	22,64
	143	8	37,9	1085	136	5,35	29,79
	139	10	46,8	1304	164	5,28	36,75
	135	12	55,4	1507	190	5,21	43,50
	131	14	63,8	1692	213	5,15	50,06
	127	16	71,9	1861	324	5,09	56,43
	123	18	79,7	2014	253	5,03	62,29
	119	20	87,3	2153	270	4,97	68,56
325	309	8	79,7	10010	616	11,2	62,54
	305	10	99,0	12290	756	11,1	77,68
	301	12	118,0	14470	891	11,1	92,63
	297	14	137,0	16570	1020	11,0	107,38
	293	16	155,0	18590	1144	10,9	121,93
	289	18	174,0	20530	1263	10,9	136,28
	285	20	192,0	22380	1377	10,8	150,44
426	406	10	131,0	28290	1328	14,7	102,60
	402	12	156,0	33470	1572	14,6	122,52
	398	14	181,0	38500	1808	14,6	142,25
	394	16	206,0	43900	2260	14,5	161,78
	390	18	230,0	48400	2530	14,4	181,11
	386	20	255,0	53000	2770	14,3	200,25

Техническая характеристика монтажных блоков

Тип или условное обозначение	Грузоподъемность, т	Количество роликов	Диаметр роликов	Диаметр каната (максимальный), мм	Длина полиспаста в стянутом виде, м	Масса блока, кг
БМ-1,25	1,25	1	120	9	—	6
БМ-2,5	2,5	1	150	13	—	14
Б5-200	5	1	200	17,5	—	48
Б10-300	10	1	300	17,5	—	48
Б10-300	15	1	400	30,5	—	112
БМ-25М	25	1	405	28,5	—	130
БМ-63	63	1	630	43,5	—	405
Б-10	10	2	400	24	2,5	135
БМ-15	15	2	400	26	2,7	206
Б20-3	20	3	400	26	3,0	248
БМ-25	25	3	400	26	2,9	331
БМ-30	30	3	400	24	3,2	407
БМ-50	50	3	474	24	2,7	760
БМ-100	100	3	474	28,5	3,4	1740
Б30-4	30	4	400	26	3,0	460
БМ-32	32	4	300	24	2,3	205
Б50-4	50	4	400	28,5	2,2	281
БМ-40	40	5	400	26	3,3	579
БМ-40	50	5	450	24	3,0	775
БМ-100	100	5	700	28,5	3,7	1605
Б50-30	50	6	400	24	2,3	335
БМ-50	50	7	400	26	4,3	1667
БМ-75	75	7	475	26	3,1	1667
БМ-130	130	7	550	33	3,5	2040
БМК-160	160	8	450	32,5	3,3	1366
БМ-200	200	10	405	27	3,4	1400
БМ-280	280	11	545	40	4,5	3160
БМ-630	630	13	630	42	5,1	6000 (неподвижного) 5610 (подвижного)

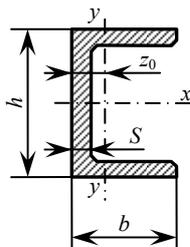
Технические характеристики электрических монтажных лебёдок

Тип лебёдки	Тяговое усилие, кН	Канат оёмкость, м	Диаметр каната, мм	Скорость навивки каната, м/мин	Число слоёв каната	Диаметр барабана, мм	Длина барабана, мм	Мощность электро двигателя, кВт	Масса с канатом, т
Л-1001	10,0	75	11	23,0	3	168	475	4,5	0,3
ТЛ-9А-1	12,5	80	11	30,0	3	219	462	8,5	0,5
МЭЛ-1,5	15,0	250	13	24,0	5	250	615	5,0	0,7
Л-3003	20,0	600	15	17,5	–	299	–	7,2	1,0
ЛТ-2500	25,0	40	18	21,6	1	400	875	7,5	1,2
ЛМ-2,5	25,0	140	18	11,5	4	–	–	7,0	0,8
Л-3-50	30,0	260	18	42,0	5	300	800	16,0	1,4
ЛМЦ-3	30,0	250	18	11,9	5	–	–	7,5	1,0
ЛМ-5М	50,0	250	22	18,0	5	377	785	14,5	1,2
ПЛ-5-69	50,0	450	22	42,0	5	426	1160	22	2,8
СЛ5-78	50,0	1200	22	42,0	6	750	1670	28	7,0
114-ТЯ	75,0	185	29	27,0	3	–	–	30	3,2
ЛМ-8	80,0	350	29	10,8	5	500	1100	11	3,1
ЛМС-8/800	80,0	800	22	13,8	7	500	1365	22	5,1
ЛМЭ-10-510	100,0	510	31	10,1	5	–	–	22	3,8
ЛМЭ-10/800	100,0	800	33	12,0	7	–	–	20	7,8
ЛМ-12,5	125,0	800	33	7,8	7	750	1350	22	8,5
ЛМС-12,5	125,0	1200	27	12,6	7	800	1575	30	9,0
Л-15А	150,0	600	33	10,0	4	620	2400	30	8,0
ЛМ-16/1250	160,0	1250	36,5	7,0	4	800	2000	32	10,4
ЛМС-32/2000	320,0	2000	42	9,0	11	920	2020	40	48,5

Значение коэффициентов трения скольжения f

Материал соприкасающихся поверхностей	Состояние поверхностей	Значение f	Материал соприкасающихся поверхностей	Состояние поверхностей	Значение f
Сталь по стали	Сухие	0,15	Сталь по снегу	–	0,02
	Смазанные	0,10	Сталь по песчанику	Сухие	0,42
Сталь по дереву	Сухие	0,40	Дерево по дереву	Сухие	0,50
	Смазанные	0,11		Смазанные	0,15
Сталь по бетону	Сухие	0,45	Дерево по бетону	Сухие	0,50
Сталь по гравиям	Сухие	0,45	Дерево по снегу	–	0,035

Швеллеры (выдержка из ГОСТ 8240–72)



Номер швеллера	Размеры, мм			Площадь сечения F^a , см ²	Масса 1 м g^a , кг	Справочные величины для осей						z_0 , см
	h	b	S			$x-x$			$y-y$			
						I_x^m , см ⁴	W_x^m , см ³	r_x^m , см	I_y^m , см ⁴	W_y^m , см ³	r_y^m , см	
5	50	32	4,4	6,16	4,84	22,8	9,10	1,92	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	8,70	3,68	1,080	1,24
8	8	40	4,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	12,80	4,75	1,190	1,31
10	100	46	4,5	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,40	6,46	1,370	1,44
12	120	52	4,8	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	31,20	8,52	1,530	1,54
14	140	58	4,9	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	45,40	11,00	1,700	1,67
14a	140	62	4,9	17,00	13,30	545,0	77,8	5,66	57,50	13,30	1,840	1,87
16	160	64	5,0	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	63,30	13,80	1,870	1,80
16a	160	68	5,0	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	78,80	16,40	2,010	2,00
18	180	70	5,1	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	86,00	17,00	2,040	1,94
18a	180	74	5,1	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	105,00	20,00	2,180	2,13
20	200	76	5,2	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	113,0	20,50	2,200	2,07
20a	200	80	5,2	25,20	19,80	1670,0	167,0	8,15	139,00	24,20	2,350	2,28
22	220	82	5,4	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	151,00	25,10	2,370	2,21
22a	220	87	5,4	28,80	22,60	2330,0	212,0	8,99	187,00	30,00	2,550	2,46
24	240	90	5,6	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	208,00	31,60	2,600	2,42
24a	240	95	5,6	32,90	25,80	3180,0	265,0	9,84	254,00	37,20	2,780	2,67
27	270	95	6,0	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	262,00	37,30	2,730	2,47
30	300	100	6,5	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	327,00	43,60	2,840	2,52
33	330	105	7,0	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	410,00	51,80	2,970	2,59
36	360	110	7,5	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	513,00	61,70	3,100	2,68
40	400	115	8,0	61,56	48,30	15220,0	761,0	15,70	642,00	73,40	3,230	2,75

Значение тригонометрических функций

Угол	Синус	Косинус	Тангенс	Угол	Угол	Синус	Косинус	Тангенс	Угол
0°	0,000	1,000	0,000	90°	23°	0,391	0,921	0,424	67°
0°30'	0,009	1,000	0,009	89°30'	23°30'	0,399	0,917	0,435	66°30'
1°	0,017	1,000	0,017	89°	24°	0,407	0,914	0,445	66°
1°30'	0,026	1,000	0,026	88°30'	24°30'	0,415	0,910	0,456	65°30'
2°	0,035	0,999	0,035	88°	25°	0,423	0,906	0,466	65°
2°30'	0,044	0,999	0,044	87°30'	25°30'	0,431	0,903	0,477	64°30'
3°	0,052	0,999	0,052	87°	26°	0,438	0,899	0,488	64°
3°30'	0,061	0,998	0,061	86°30'	26°30'	0,446	0,895	0,499	63°30'
4°	0,070	0,998	0,070	86°	27°	0,454	0,891	0,510	63°
4°30'	0,078	0,997	0,079	85°30'	27°30'	0,462	0,887	0,521	62°30'
5°	0,087	0,996	0,087	85°	28°	0,469	0,883	0,532	62°
5°30'	0,096	0,995	0,096	84°30'	28°30'	0,477	0,879	0,543	61°30'
6°	0,105	0,995	0,105	84°	29°	0,485	0,875	0,554	61°
6°30'	0,113	0,994	0,114	83°30'	29°30'	0,492	0,870	0,566	60°30'
7°	0,122	0,993	0,123	83°	30°	0,500	0,866	0,577	60°
7°30'	0,131	0,991	0,132	82°30'	30°30'	0,508	0,862	0,589	59°30'
8°	0,139	0,990	0,141	82°	31°	0,515	0,857	0,601	59°
8°30'	0,148	0,989	0,149	81°30'	31°30'	0,522	0,853	0,613	58°30'
9°	0,156	0,988	0,158	81°	32°	0,530	0,848	0,625	58°
9°30'	0,165	0,986	0,167	80°30'	32°30'	0,537	0,843	0,637	57°30'
10°	0,174	0,985	0,176	80°	33°	0,545	0,839	0,649	57°
10°30'	0,182	0,983	0,185	79°30'	33°30'	0,552	0,834	0,662	56°30'
11°	0,191	0,982	0,194	79°	34°	0,559	0,829	0,675	56°
11°30'	0,199	0,980	0,203	78°30'	34°30'	0,566	0,824	0,687	55°30'
12°	0,208	0,978	0,213	78°	35°	0,574	0,819	0,700	55°
12°30'	0,216	0,976	0,222	77°30'	35°30'	0,581	0,814	0,713	54°30'
13°	0,225	0,974	0,231	77°	36°	0,588	0,809	0,727	54°
13°30'	0,233	0,972	0,240	76°30'	36°30'	0,595	0,804	0,740	53°30'
14°	0,242	0,970	0,249	76°	37°	0,602	0,799	0,754	53°
14°30'	0,250	0,968	0,259	75°30'	37°30'	0,609	0,793	0,767	52°30'
15°	0,259	0,966	0,268	75°	38°	0,616	0,788	0,781	52°
15°30'	0,267	0,964	0,277	74°30'	38°30'	0,623	0,783	0,795	51°30'
16°	0,276	0,961	0,287	74°	39°	0,629	0,777	0,810	51°
16°30'	0,284	0,959	0,296	73°30'	39°30'	0,636	0,772	0,824	50°30'
17°	0,292	0,956	0,306	73°	40°	0,643	0,766	0,839	50°
17°30'	0,301	0,954	0,315	72°30'	40°30'	0,649	0,760	0,854	49°30'
18°	0,309	0,951	0,325	72°	41°	0,656	0,755	0,869	49°
18°30'	0,317	0,948	0,335	71°30'	41°30'	0,663	0,749	0,885	48°30'
19°	0,326	0,946	0,344	71°	42°	0,669	0,743	0,900	48°
19°30'	0,334	0,943	0,354	70°30'	42°30'	0,676	0,737	0,916	47°30'
20°	0,342	0,940	0,364	70°	43°	0,682	0,731	0,933	47°
20°30'	0,350	0,937	0,374	69°30'	43°30'	0,688	0,725	0,949	46°30'
21°	0,358	0,934	0,384	69°	44°	0,695	0,719	0,966	46°
21°30'	0,367	0,930	0,394	68°30'	44°30'	0,701	0,713	0,981	45°30'
22°	0,375	0,927	0,404	68°	45°	0,707	0,707	0,1000	45°
22°30'	0,383	0,924	0,414	67°30'					

Предельные гибкости $[\lambda]$ сжатых элементов

Элементы грузоподъёмных средств	Максимально допустимая гибкость $[\lambda]$
Мачты, стрелы, шевры, стойки, траверсы и другие аналогичные конструкции с тремя или четырьмя поясами, соединёнными решёткой, или двумя поясами (из швеллеров или двутавров), соединённых решётками или планкой	150
То же, из одиночных труб	180
Пояса треугольных траверс	150
Монтажные распорки	200

**Коэффициент ϕ продольного изгиба центрально-сжатых элементов
для стали марки Ст3**

Гибкость λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,00	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991
10	0,99	0,998	0,996	0,994	0,992	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972
20	0,97	0,968	0,966	0,964	0,962	0,960	0,958	0,96	0,954	0,952
30	0,95	0,947	0,944	0,941	0,938	0,935	0,932	0,929	0,926	0,923
40	0,92	0,917	0,914	0,911	0,908	0,905	0,902	0,899	0,896	0,893
50	0,89	0,887	0,884	0,881	0,878	0,875	0,872	0,869	0,866	0,863
60	0,86	0,855	0,850	0,845	0,840	0,835	0,830	0,825	0,820	0,815
70	0,81	0,804	0,798	0,792	0,786	0,780	0,774	0,768	0,762	0,756
80	0,75	0,774	0,738	0,732	0,726	0,720	0,714	0,708	0,702	0,696
90	0,69	0,681	0,672	0,663	0,654	0,645	0,636	0,627	0,618	0,609
100	0,60	0,592	0,584	0,576	0,568	0,560	0,552	0,544	0,536	0,528
110	0,52	0,513	0,506	0,499	0,492	0,485	0,478	0,471	0,464	0,457
120	0,45	0,445	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405
130	0,40	0,396	0,392	0,388	0,384	0,380	0,376	0,372	0,368	0,364
140	0,36	0,356	0,352	0,348	0,344	0,340	0,336	0,332	0,328	0,324
150	0,32	0,317	0,314	0,311	0,308	0,305	0,302	0,299	0,296	0,293
160	0,29	0,287	0,284	0,281	0,278	0,275	0,279	0,269	0,266	0,262
170	0,26	0,257	0,254	0,251	0,248	0,245	0,242	0,239	0,236	0,233
180	0,23	0,228	0,226	0,224	0,222	0,220	0,217	0,216	0,214	0,213
190	0,21	0,208	0,206	0,204	0,202	0,200	0,198	0,196	0,194	0,198
200	0,19	–	–	–	–	–	–	–	–	–

**Примерные сечения стальных горячедеформированных труб
для монтажных мачт**

Масса поднимаемого груза, т	Высота мачты, м										
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
10	168/8	303/8	245/8	273/8	299/8	325/8	377/10	402/10	426/10	450/10	500/10
20	180/14	230/14	245/10	273/10	299/10	325/10	377/10	402/10	426/10	450/10	500/10
30	194/16	245/12	245/14	273/14	299/14	325/12	377/10	402/10	426/10	450/10	500/10
40	219/16	245/14	273/14	299/14	325/14	351/16	377/12	402/12	426/12	480/10	500/10
50	245/16	273/14	299/14	325/14	326/16	351/16	377/14	402/14	426/14	480/12	500/12
60	273/12	299/14	325/14	351/14	351/16	377/16	402/16	426/14	426/16	480/14	500/14
70	273/14	325/12	325/16	351/16	377/16	402/16	402/16	450/14	450/16	500/14	500/14
80	273/16	325/14	351/14	377/14	402/16	426/14	426/16	450/16	500/14	500/14	500/14
90	299/14	351/12	351/18	402/14	426/16	450/14	450/16	500/14	530/14	600/10	600/12
100	299/16	351/14	377/14	402/16	450/14	450/16	480/14	530/14	560/14	600/12	630/12

Примечания: 1. Сечения труб рассчитаны с учётом масс полиспастов и мачты, а также усилий от сбегающих ветвей грузовых полиспастов и натяжных расчалок.

2. Гибкость мачт не превышает предельной $\lambda = 180$.

**Коэффициент приведения расчётной длины μ
для стержней постоянного сечения**

Схема закрепления концов стержня					
Коэффициент μ	1,0	0,7	0,5	1,0	2,0

**Примерные усилия первоначального натяжения нерабочих вант
монтажных мачт $P_{н.в.}$, кН**

Масса поднимаемого груза, т	Высота мачты, м							
	10	12	14	16	18	20	25	30
10	3,5	3,5	5,0	7,0	10,0	12,5	15,0	20,0
20	5,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,5	20,0	25,0
30	5,0	6,0	7,0	10,0	12,5	12,5	20,0	25,0
40	6,0	8,0	9,0	10,0	12,5	15,0	20,0	25,0
50	7,0	10,0	10,0	12,5	13,5	15,0	25,0	30,0
60	10,0	12,5	12,5	13,0	13,5	17,0	25,0	30,0
70	11,0	12,5	13,0	13,5	15,0	20,0	25,0	35,0
80	12,5	13,0	13,0	13,5	15,0	20,0	30,0	40,0
90	12,5	13,5	14,0	15,0	20,0	25,0	35,0	40,0
100	13,0	14,0	15,0	17,0	25,0	30,0	40,0	50,0

Коэффициенты $\varphi^{вн}$ для проверки устойчивости внецентренно сжатых (сжато-изогнутых) сплошнотенчатых стержней в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R/E}$	Коэффициент внецентренного продольного изгиба $\varphi^{вн}$																									
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
0,5	967	922	850	782	722	669	620	577	538	469	417	370	337	307	280	260	237	222	210	183	164	150	125	110	090	072
1,0	925	854	778	711	653	600	563	520	484	427	382	341	307	283	259	240	225	209	196	175	157	142	122	105	088	068
1,5	875	804	716	647	593	548	507	470	439	388	347	312	283	262	240	223	207	195	182	163	148	134	114	099	084	067
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397	352	315	286	260	240	222	206	193	182	170	153	138	125	107	094	079	065
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357	317	287	262	238	220	204	190	178	168	158	144	130	118	101	089	075	063
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320	287	260	238	217	202	187	175	166	156	147	135	123	112	096	086	072	060
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287	258	233	216	198	183	172	162	153	145	137	125	115	106	091	082	068	058
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256	232	212	197	180	168	158	149	140	135	127	118	108	098	087	078	065	056
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229	208	192	178	165	155	146	137	130	125	118	110	101	093	082	073	062	054
5,0	354	326	295	273	253	239	225	215	205	188	175	162	150	143	135	126	120	117	111	103	095	088	077	070	060	052
5,5	302	280	256	240	224	212	200	192	184	170	158	148	138	132	124	117	112	108	104	095	089	084	073	067	057	050
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	166	153	145	137	128	120	115	109	104	100	096	089	084	079	069	064	055	048
6,5	223	213	196	185	176	170	160	155	149	140	132	125	117	112	106	101	097	094	089	083	080	074	066	061	052	045
7,0	194	186	173	163	157	152	145	141	136	127	121	115	108	102	098	094	091	087	083	078	074	070	063	058	050	043
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113	106	100	095	091	087	083	081	078	076	074	068	065	062	056	052	045	039
9,0	122	117	112	107	103	100	098	096	093	088	085	082	079	075	072	069	066	065	064	061	058	055	051	046	042	036
10,0	100	097	093	091	090	085	081	080	079	075	072	070	069	065	062	060	059	058	057	055	052	049	045	041	038	034
11,0	083	079	077	076	075	073	071	069	068	063	062	061	060	057	055	053	052	051	050	048	06	044	041	036	034	032
12,0	069	067	064	063	062	060	059	059	058	055	054	053	052	051	050	049	048	047	046	044	042	040	038	034	032	029
13,0	062	061	054	053	052	051	051	050	050	049	048	048	047	045	044	043	042	041	041	039	038	037	035	033	030	027
14,0	052	049	049	048	048	047	047	046	045	044	043	043	042	041	040	040	039	038	037	036	036	036	033	032	028	026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения	3
Введение	5
Основные принципы расчёта такелажной оснастки и грузоподъёмных средств	5
Материалы, применяемые для изготовления такелажной оснастки и грузоподъёмных средств	6
Расчёт сварной составной балки	7
Расчёт сварных соединений в грузоподъёмных и такелажных приспособлениях	10
Расчёт болтовых соединений в грузоподъёмных и такелажных приспособлениях	13
Расчёт проушин, пальцев и осей шарниров в такелажных и грузоподъёмных приспособлениях	15
Расчёт стальных канатов	20
Расчёт канатных стропов	21
Расчёт траверс	23
Расчёт такелажных скоб	25
Расчёт монтажных шурупов	28
Расчёт и подбор отводных блоков	30
Расчёт и подбор полиспаатов	32
Определение наименьших допустимых диаметров роликов и барабанов лебёдок	37
Определение канатоёмкости и расчёт закрепления лебёдок	38
Расчёт монорельсов	40
Расчёт монтажных балок	42
Расчёт монтажной балки сплошного и сквозного сечения	46
Расчёт консольной монтажной балки	46
Расчёт поворотных шарниров	47
Расчёт якорей	56
Расчёт наземных инвентарных якорей	57
Расчёт полузаглублённых якорей	59
Расчёт заглублённых якорей	61
Подбор свайных якорей	66
Расчёт мачт	67
Расчёт монтажных порталов	79
Расчёт монтажных шевров	82
Расчёт монтажных треног	89
Расчёт стрелы	92
Список литературы	95
Приложения	96