

Бутов Г.М., Лапшина С.В.

# Монтаж оборудования химической промышленности

Волжский

2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Г.М. Бутов, С.В. Лапшина

Монтаж оборудования химической промышленности

Электронное учебное пособие



2018

УДК 66.02(07)

ББК 34.7я73

Б 934

Рецензенты:  
инженер-конструктор ООО «КОМЕД»  
*Харитонов В.Н.*,  
начальник монтажно-технологического отдела ОАО  
«Гипрорезинотехника»  
*Афанасьева Е.Е.*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Бутов, Г.М.

Монтаж оборудования химической промышленности [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.М. Бутов, С.В. Лапшина ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 644 КБ). – Волжский, 2018. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-2994-3

В учебном пособии рассматриваются основы технологии монтажа оборудования химических предприятий. Приведены методики и примеры расчета такелажной оснастки. Изложены особенности монтажа основных видов технологического оборудования с помощью мачтовых подъемников.

Учебное пособие предназначено для студентов обучающихся по направлению 18.03.02 "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии".

Ил. 12, табл. 4, библиограф.: 6 назв.

ISBN 978-5-9948-2994-3

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2018

© Волжский политехнический  
институт, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение _____	4
Часть I Общие вопросы расчета такелажной оснастки и грузоподъемных средств.	
1.1 Характеристика монтируемого оборудования _____	7
<b>1.2 Основные принципы расчета такелажной оснастки и грузоподъемных средств.</b> _____	<b>9</b>
Часть II Расчет канатов	
2.1 Расчет пеньковых и капроновых канатов _____	13
2.2 Расчет стальных канатов _____	13
Часть III Расчет грузозахватных устройств	
3.1 Определение мест строповки оборудования _____	15
3.2 Расчет канатных стропов _____	17
3.3 Расчет траверс _____	21
Часть IV Расчет грузоподъемных устройств и приспособлений	
4.1 Определение наименьших допустимых диаметров роликов и барабанов _____	31
4.2 Определение канатоемкости и расчет закрепления лебедок _____	32
Часть V Расчет якорей	
5.1 Расчет полузаглубленных якорей _____	35
5.2 Расчет заглубленных якорей _____	38
5.3 Расчет усиленных заглубленных якорей _____	41
Часть VI Расчет грузоподъемных устройств мачтово-стрелового типа	
6.1 Расчет монтажных мачт _____	43
6.2 Расчет минимальной высоты монтажной мачты _____	44
6.3 Определение изгибающего момента в мачте _____	49
6.4 Расчет трубчатых мачт _____	50
6.5 Мачта с консольно закрепленным полиспастом и наклонная мачта, работающие на внецентренное сжатие _____	53
Литература _____	58

## Введение

В настоящем учебном пособии приведены виды расчета такелажной оснастки и грузоподъемных приспособлений для подъема и перемещения различного технологического оборудования и конструкций. Рассмотренные способы расчета просты, достаточно точны и полны для практического применения. Кроме определения усилий в элементах такелажной оснастки, излагается методика конструктивных расчетов этих элементов.

В учебном пособии представлен ряд справочных данных в виде таблиц, что избавляет от необходимости обращаться во время расчета такелажной оснастки к другим справочным источникам. Приведенная методика позволяет использовать технические характеристики новых типов подъемно-транспортного оборудования. Расчеты иллюстрированы схемами и наиболее распространенными практическими примерами.

Пособие рассчитано на студентов направления 18.03.02. "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии".

Примеры расчета, приведенные в настоящем учебном пособии, позволяют избежать ошибок при выборе такелажных средств и подъемно-транспортного оборудования и тем самым обезопасить выполнение наиболее трудоемких и ответственных монтажных операций, связанных с подъемом и перемещением оборудования и конструкций.

## ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

### 1. Усилия и нагрузки

$N$  — продольное усилие, кН;

$Q$  — поперечное усилие, кН;

$P, S$  — усилия в элементах такелажной оснастки, кН;

$F_T$  — усилие трения, кН;

$R_K$  — разрывное усилие в канате, кН;

$G$  — масса, т или кг;

$M$  — изгибающий момент, кН·см, кН·м.

### 2. Геометрические характеристики

$H, h$  — высота, м, см, мм;

$L, I$  — длина, м, см, мм;

$F$  — площадь сечения, см<sup>2</sup>;

$W$  — момент сопротивления сечения, см<sup>3</sup>;

$I$  — момент инерции сечения, см<sup>4</sup>;

$r$  — радиус инерции сечения, см;

$\delta$  — толщина элемента, см, мм;

$\lambda$  — гибкость элемента.

### 3. Характеристики материалов

$R$  — расчетные сопротивления металла на растяжение, сжатие, изгиб, срез и смятие; наименьшая возможная величина нормативного сопротивления, представляющая собой сопротивление материала, отвечающее значению предела текучести, МПа ;

$\sigma_{вр}$  — временное сопротивление металла разрыву, МПа;

$E$  — модуль упругости: для стали  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа, или  $2,1 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>.

### 4. Коэффициенты

$k_3$  — коэффициент запаса прочности каната: число, показывающее во сколько раз следует уменьшить нагрузку на канат по сравнению с разрывным

усилием, чтобы натяжение каната при выполнении такелажной операции было безопасным;

$k_{\text{п}}$  — коэффициент перегрузки, равный 1,1: учитывает возможное отклонение фактической нагрузки в неблагоприятную сторону от нормативного значения в результате изменчивости нагрузки, отступлений от нормальной эксплуатации, а также вследствие неточного определения массы и расположения центра массы поднимаемого оборудования;

$k_{\text{д}}$  — коэффициент динамичности: учитывает повышение нагрузки на такелажные элементы, связанное с изменением скорости подъема или опускания груза и неравномерным сопротивлением трения при перемещении оборудования (коэффициент в среднем может быть принят равным 1,1);

$k_{\text{н}}$  — коэффициент неравномерности нагрузки на такелажные элементы при подъеме и перемещении оборудования спаренными подъемно-транспортными средствами (кранами, мачтами, полиспастами), работающими с разными скоростями (коэффициент в среднем может быть принят равным: при использовании балансирных устройств — 1,1, при их отсутствии — 1,2);

$m$  — коэффициент условий работы: учитывает действительные особенности работы такелажных элементов и конструкций, не учтенные расчетом, такие, например, как изменение температур, многократность силовых воздействий, приближенность и упрощение расчетов;

$\mu$  — коэффициент приведения расчетной длины элемента, зависящий от условий закрепления его концов и приложения нагрузки;

$\varphi$  — коэффициент продольного изгиба стержня

# ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ТАКЕЛАЖНОЙ ОСНАСТКИ И ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ СРЕДСТВ

## 1.1 Характеристика монтируемого оборудования.

Монтируемое оборудование классифицируется по следующим основным признакам: пространственному положению, массовым и габаритным характеристикам, расположению на территории технологической установки, рабочим условиям, конструктивным и технологическим особенностям.

**Пространственное положение оборудования.** В зависимости от положения в пространстве можно выделить горизонтальные, вертикальные, наклонные и пространственные конструкции. К горизонтальному оборудованию относятся теплообменники, отстойники, фильтры и др. Большая часть оборудования данной группы является габаритным для перевозки по железным дорогам, доставляется на монтажную площадку в собранном виде. Для его монтажа используют самоходные стреловые краны. К вертикальному оборудованию относятся колонные аппараты, реакторы, емкости для хранения нефтепродуктов, дымовые трубы и др. Многие аппараты данной группы негабаритны для перевозки в полностью собранном виде. Для сборки и установки данного оборудования используются мачтовые и гидравлические подъемники. К наклонному оборудованию относятся различные транспортные устройства, вращающиеся цилиндрические печи и др. Аппараты этой группы могут быть габаритны и негабаритны для перевозки в полностью собранном виде. При монтаже такого оборудования большой объем работ приходится выполнять по укрупнительной сборке и выверке смонтированных блоков. Такое оборудование устанавливают с применением самоходных стреловых и башенных кранов, порталов. К пространственному оборудованию относятся резервуары, газгольдеры, трубчатые печи, конденсаторы воздушного охлаждения. Это оборудование устанавливается с помощью стреловых кранов, в некоторых случаях с применением мачтовых подъемников.



**Массовые характеристики оборудования.** С точки зрения возможности установки в проектное положение оборудование по массе можно разделить на следующие группы: до 30, 30-200, 200-400 и свыше 400 т. Аппараты массой до 30 т в проектное положение можно устанавливать с помощью самоходных стреловых кранов. Аппараты массой 30-200 т монтируют, применяя спаренные самоходные краны, мачтовые подъемники. Монтаж аппаратов массой 200-400 т осуществляют с помощью мачтовых и гидравлических подъемников.

**Габаритные характеристики оборудования.** Длина, ширина, высота или диаметр и высота оказывают существенное влияние на выбор способа монтажа. Оборудование можно разделить на три группы: габаритное, принимаемое к перевозке железной дорогой без ограничений, и определенной степени негабаритное, принимаемое к перевозке в собранном виде с ограничениями; негабаритное для железнодорожных перевозок, т. е. принимаемое к перевозке по железной дороге отдельными блоками и деталями, но габаритное для транспортировки в собранном виде по шоссейным или водным путям; абсолютно негабаритное для перевозки в полностью собранном виде любым видом транспорта.

**Расположение оборудования на территории технологической установки.** По расположению на территории технологической установки можно выделить следующие группы оборудования: устанавливаемое на уровне земли или на невысоких фундаментах вне помещения; монтируемое на высоких фундаментах, постаментах вне помещений; устанавливаемое под перекрытиями зданий или под постаментами.

**Рабочие условия в оборудовании.** Под рабочими условиями понимают рабочее давление и температуру, а также среду, находящуюся в аппарате, и ее свойства. Оборудование можно подразделить на работающее при избыточном давлении свыше 0.07 МПа, работающее при избыточном давлении до 0.07 МПа и работающее под вакуумом. Аппараты, работающие при избыточном давлении более 0.07 МПа, подведомственны правилам

Госгортехнадзора. По температурному режиму оборудование можно разбить на три группы: работающее при положительных температурах не выше 250°C; свыше 250°C и при температурах ниже 0°C. Рабочая среда степенью своей коррозионности и токсичности, а также своим агрегатным состоянием влияет на производство монтажных работ. В связи с наличием взрыво- и огнеопасных сред особое требование предъявляются к плотности всех соединений, и появляется необходимость в устройстве заземления для отвода статического электричества.

**Конструктивные и технологические особенности оборудования.** В конструктивном отношении большинство аппаратуры представляет собой цилиндрические сосуды со сферическими или эллиптическими днищами, реже встречаются аппараты сферической формы и еще реже аппараты с плоскими стенками. Всестороннее знание характеристик монтируемого оборудования позволяет оценить трудоемкость монтажных работ и выбрать наиболее эффективный процесс их производства.

## **1.2. Основные принципы расчета такелажной оснастки и грузоподъемных средств.**

При монтаже технологического оборудования и металлоконструкций наравне с монтажными кранами различных типов применяются всевозможное такелажное оборудование и оснастка: монтажные мачты, порталы, шевры и стрелы, опоры, стойки, распорки, монтажные балки, монорельсы, траверсы, полиспасты, блоки, якоря, лебедки, домкраты, канатные элементы различных назначений (стропы, ванты, стяжки, оттяжки, тяговые и тормозные канаты и т. п.). Технически грамотное использование их при условии обеспечения безопасности ведения монтажных работ без излишних запасов прочности связано с расчетом этого оборудования и оснастки. Большинство из вышеперечисленных видов подъемно-транспортных и такелажных средств может быть изготовлено монтажной организацией. Для этого также необходим их предварительный расчет.

Расчет такелажных средств и оснастки сводится к решению следующих двух задач:

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

2. Определение конструктивных размеров этих элементов с учетом максимальных нагрузок, действующих на них, или подбор стандартного такелажного оборудования по расчетным нагрузкам.

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

Все расчеты такелажной оснастки выполнены с учетом требований Инструкции по проектированию, изготовлению и эксплуатации монтажных приспособлений  $\left( \frac{\text{ВСН 42-74}}{\text{ММСС СССР}} \right)$ , соответствующих СНиП 23—81 «Стальные конструкции. Нормы проектирования» и отраслевому стандарту «Канаты стальные такелажных средств» (ОСТ 36—73—82).

Расчеты прочности и устойчивости элементов такелажной оснастки из прокатной стали выполняются по методу предельных состояний. Предельным называется такое состояние, при котором конструкция перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, связанным с назначением и ответственностью. Этот метод заключается в определении расчетных усилий в элементах оснастки и сравнении напряжений от этих усилий с соответствующими расчетными сопротивлениями, умноженными на коэффициенты условий работы. Расчетные усилия, в свою очередь, оп-

ределяются по расчетным нагрузкам, получаемым путем умножения нормативных нагрузок, отвечающих условиям нормальной эксплуатации, представляющих собой массы поднимаемого оборудования и монтажных приспособлений, на коэффициенты перегрузки. При этом расчетные нагрузки учитывают возможное превышение нормативных нагрузок, вызванное отступлениями от нормальных условий эксплуатации.

Существуют следующие виды расчета такелажной оснастки из прокатной стали по методу предельных состояний:

1. Проверка прочности элемента при известной нагрузке на него по заданным размерам сечения и материалу (проверочный расчет):

$$N/F \leq m_{0,1}R.$$

2. Подбор сечения элемента при известной нагрузке по условиям его работы и материалу (проектный расчет):

$$F_{\text{тр}} \geq N/(m_{0,1}R).$$

3. Определение несущей способности (допускаемого усилия) на элемент по известным размерам и материалу:

$$N \leq m_{0,1}RF,$$

где  $N$  — величина нагрузки на элемент, кН;  $F$  — площадь сечения элемента, см<sup>2</sup>;  $m$  — коэффициент условий работы;  $R$  — расчетное сопротивление, МПа.

Прочность стальных канатов рассчитывается по методу коэффициентов запаса, который состоит в определении максимальных расчетных усилий в ветвях канатов. Эти усилия должны соответствовать нормативным нагрузкам от массы поднимаемого оборудования и монтажных приспособлений без учета коэффициентов перегрузки и динамичности, умноженным на коэффициент запаса прочности, и сравниваться с разрывным усилием каната в целом.

Все грузоподъемные устройства рассчитываются с учетом следующих нагрузок и воздействий:

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

усилий в оттяжках, расчалках и сбегающих ветвях полиспастов;

нагрузок, вызываемых отклонением грузоподъемного устройства от вертикали;

динамических воздействий, учитываемых коэффициентом, равным 1,1;

ветровых нагрузок.

Все захватные приспособления рассчитываются с учетом следующих нагрузок;

масс поднимаемых грузов и захватных приспособлений;

усилий оттяжек;

динамических воздействий, учитываемых коэффициентом, равным 1,1.

При определении усилий в грузоподъемных устройствах и траверсах масса поднимаемого груза и самого грузоподъемного устройства умножается на коэффициент перегрузки, равный 1,1. При определении усилий в грузовых полиспастах, расчалках, оттяжках, тросах и стропах коэффициенты перегрузки и динамичности не учитываются.

Для некоторого упрощения расчетов, приведенных в настоящем пособии, не учитываются ветровые нагрузки ввиду их малой величины. При необходимости их учета следует пользоваться указаниями СНиП II-6—74 «Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия».

При переводе единиц системы МКГСС в систему СИ необходимо учитывать, что килограмм-сила  $P$  равна весу тела, имеющего массу  $G = 1$  кг при нормальном ускорении свободного падения  $g = 9,80665$  м/с<sup>2</sup>, т. е. в системе СИ  $P = Gg$ . Округляя величину ускорения  $g$  до 10 м/с<sup>2</sup>, получаем  $P = 10G$  (точность, достаточная для учебного пособия). В системе СИ единицей напряжения и давления является паскаль, или 1 Н, деленный на 1 м<sup>2</sup>. Для расчетов используют единицы килопаскаль и мегапаскаль ( $1$  кгс/см<sup>2</sup>  $\approx$  0,1 МПа = 10 кН/см<sup>2</sup>).

## **ЧАСТЬ II. РАСЧЕТ КАНАТОВ.**

### **2.1 Расчет пеньковых и капроновых канатов.**

Пеньковые и капроновые канаты имеют в такелажных работах ограниченное применение. Они используются для подъема грузов небольшой массы вручную, для расчалок, оттяжек. Пеньковые канаты в зависимости от качества сырья и назначения подразделяются на обыкновенные, повышенные и специальные.

Расчет пеньковых и капроновых канатов сводится к определению допустимого натяжения (кН) по формуле:

$$P = R_k / k_3,$$

где  $R_k$  – разрывная нагрузка каната в кН;  $k_3$  – коэффициент запаса прочности.

Пример 1. Определить допускаемое усилие в пеньковом канате группы “повышенные” диаметром  $d=40$  мм.

Решение:

1. Находим величину разрывной нагрузки для данного каната (по ГОСТу 483-75)

$$R_k = 89.6 \text{ кН}$$

2. Подсчитываем допускаемое усилие в канате:

$$P = R_k / k_3 = 89.6 / 8 = 11.2 \text{ кН.}$$

Пример 2. Определить диаметр капронового каната для допускаемого усилия.  $P = 15$  кН.

Решение:

1. Находим разрывную нагрузку в канате:

$$R_k = P \cdot k_3 = 15 \cdot 8 = 120 \text{ кН.}$$

2. По найденной разрывной нагрузке подбираем по ГОСТу 10293-77 капроновый канат диаметром  $d=29$  мм с разрывной нагрузкой  $R_k=121$  кН.

### **2.2 Расчет стальных канатов.**

При выполнении 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, лебедок и монтажных кранов.

Независимо от назначения в такелажных средствах необходимо применять стальные канаты, отвечающие следующим требованиям:

- по конструкции канаты двойной свивки;
- по типу прядей – с линейным касанием проволок между слоями (ЛК) и в качестве замены – с точечно-линейным касанием (ТЛК);
- по материалу сердечника – с органическим сердечником (ОС);
- по способу свивки – нераскручивающиеся (Н);
- по направлению свивки – крестовой свивки;
- по маркировочной группе – с временным сопротивлением разрыву 1764 МПа и более; как исключение допускается применение канатов прочностью не менее 1372 МПа.
- по наличию покрытия для работы в химически активных средах и в воде – канаты с оцинкованной проволокой;
- по назначению – грузовые (Г).

Стальные канаты рассчитываются на прочность путем определения максимальных расчетных усилий в ветвях, умножения их на коэффициент запаса прочности и сравнения полученных значений с разрывным усилием каната в целом. При этом расчетные усилия, действующие на канат, включают нормативные нагрузки без учета коэффициентов перегрузки и динамичности от массы поднимаемых грузов вместе с монтажными приспособлениями и усилий в оттяжках, тягах.

Расчет стального каната выполняется в следующем порядке:

1. Определяют разрывное усилие каната (кН)

$$R_k = S k_3,$$

где S- максимальное расчетное усилие в канате, кН;  $k_3$  – коэффициент запаса прочности.

2. В зависимости от назначений выбирают более гибкий (6×36) или более жесткий (6×19) канат и по таблице ГОСТа устанавливают его характеристику: тип, конструкцию, временное сопротивление разрыву, разрывное усилие (не менее расчетного) диаметр и массу.

Пример 3. Подобрать и рассчитать стальной канат для электролебедки с тяговым усилием  $S=100$  кН.

Решение:

1 Подсчитываем разрывное усилие в канате, выбрав коэффициент запаса прочности  $k_3=5$  для грузового каната с легким режимом работы:

$$R_k = S k_3 = 100 \cdot 5 = 500 \text{ кН}$$

2. Выбираем для лебедки гибкий канат типа ЛК-РО конструкции 6×36 (1+7+7/7+14)+1 о.с и по таблице ГОСТа определяем его характеристики:

Временное сопротивление разрыву – 1764 МПа.

Разрывное усилие – 517 кН

Диаметр каната 31 мм

Масса 1000м каната – 3655 кг

## **ЧАСТЬ III. РАСЧЕТ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ**

### **3.1 Определение мест строповки оборудования.**

Для захвата различных грузов, оборудования грузоподъемными механизмами применяются специальные устройства. Учитывая большое разнообразие массы, габаритов, конфигурации, прочности и расположения точек строповки монтируемого оборудования, а также конкретных условий подъема, в монтажной практике используется большое количество захватных устройств, расчет которых имеет определенные особенности.

При монтаже часто приходится определять положение центра массы различных видов технологического оборудования. Как правило, это связано с решением вопросов о местах строповки как горизонтальных, так и вертикальных цилиндрических аппаратов, а также оборудования сложной конфигурации. Если не учитывать положение центра массы поднимаемого



оборудования, то возможны перегрузка отдельных грузоподъемных средств и ветвей стропов, потеря устойчивости и опрокидывание поднимаемого аппарата.

Положение центра масс оборудования находится по формуле:

$$\bar{\bar{X}}_{ц.м} = \sum G_i \bar{\bar{X}}_i / G_0 ,$$

где  $\bar{\bar{X}}_{ц.м}$  и  $\bar{\bar{X}}_i$  – расстояние от центра массы собственно аппарата и отдельного элемента аппарата до плоскости, проходящей через одну из крайних точек корпуса аппарата и перпендикулярной его оси, м;  $G_i$  – масса отдельно элемента аппарата, т;  $G_0$  – общая масса аппарата. При определении центра массы сложных геометрических фигур и тел следует пользоваться данными табл.1

Пример 4. Определить положение центра массы реактора (рис 1) общей массой  $G_0=103$ т, если известно, что массы отдельных его частей составляют: опорной –  $G_1=4$ т; нижней –  $G_2=60$  т; конической –  $G_3=6$  т; верхней –  $G_4=30$  т; сферической –  $G_5=3$  т, при этом расстояние центр масс этих элементов от опорной плоскости А-А следующие:  $\bar{\bar{X}}_1=1.4$  м;  $\bar{\bar{X}}_2=6.5$  м;  $\bar{\bar{X}}_3=12.5$  м;  $\bar{\bar{X}}_4=16.5$  м;  $\bar{\bar{X}}_5=20.5$  м;

Решение:

$$\bar{\bar{X}}_{ц.м} = (G_1 \bar{\bar{X}}_1 + G_2 \bar{\bar{X}}_2 + G_3 \bar{\bar{X}}_3 + G_4 \bar{\bar{X}}_4 + G_5 \bar{\bar{X}}_5) / G_0 = (4 \cdot 1.4 + 60 \cdot 6.5 + 6 \cdot 12.5 + 30 \cdot 16.5 + 3 \cdot 20.5) / 103 = 10 \text{ м}$$

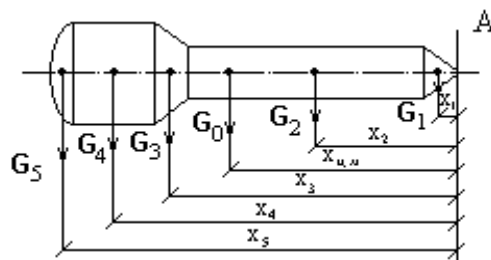


Рис.1 Расчетная схема определения центра массы реактора

### 3.2. Расчет канатных стропов

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

При монтаже используются следующие типы канатных стропов: обычные, к которым относятся универсальные и одно-, двух-, трех-, и четырехветвевые, закрепляемые на поднимаемом оборудовании обвязкой или инвентарными захватами, а также витые и полотенчатые.

Для строповки тяжеловесного оборудования преимущественно витые стропы, выполняемые в виде замкнутой петли путем последовательной параллельной плотной укладки перевитых между собой витков каната вокруг начального центрального витка. Эти стропы имеют ряд преимуществ: равномерность распределения нагрузки на все витки, сокращение расхода каната, меньшая трудоемкость строповки.

Полотенчатые стропы выполняются также в виде замкнутой петли из плотно укладываемых витков каната, располагая их однослойно на захватное устройство и элемент поднимаемого оборудования (монтажный штуцер, вал). Это обеспечивает равномерное натяжение отдельных ветвей стропа, концы каната закрепляются петлей с помощью зажимов.

Канатные стропы рассчитываются в следующем порядке (рис. 2):

1. Определяют натяжение (кН) в одной ветви стропа:

$$S = \frac{P}{(m \cdot \cos \alpha)},$$

где  $P$  – расчетное усилие, приложенное к стропу, без учета коэффициентов перегрузки и динамичности, кН,  $m$  – общее количество ветвей стропа;  $\alpha$  - угол между направлением действием расчетного усилия и ветвью стропа, которым задаются исходя из поперечных размеров поднимаемого оборудования и способа строповки (этот угол рекомендуются

назначать не более  $45^\circ$ , имея в виду, что с увеличением его усилие в ветви стропа значительно возрастает).

2. Находят разрывное усилие в ветви стропа (кН):

$$R_k = P \cdot k_3.$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса прочности для стропа.

3. По расчетному разрывному усилию, подбирают наиболее гибкий канат и определяют его технические данные.

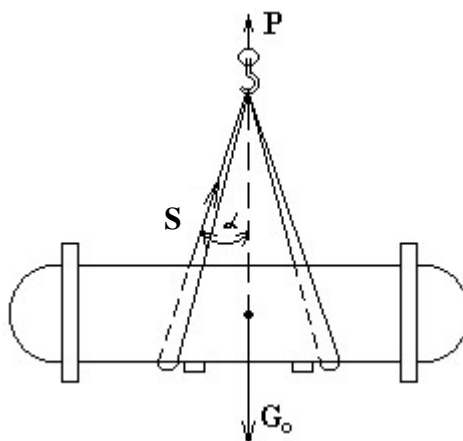


Рис. 2 Расчетная схема стропа

Пример 5. Рассчитать стальной канат для стропа, применяемого при подъеме горизонтального цилиндрического теплообменного аппарата массой  $G_0=15$  т.

Решение:

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

$$S = \frac{P}{(m \cdot \cos \alpha)} = \frac{10G_0}{(m \cdot \cos \alpha)} = \frac{10 \cdot 15}{(4 \cdot 0,707)} = 52 \text{ кН}.$$

2. Находим разрывное усилие в ветви стропа:

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

3. По найденному разрывному усилию подбираем канат типа ЛК-РО конструкции 6×36 с характеристиками:

Временное сопротивление разрыву - 1960 МПа

Разрывное усилие – 338 кН.

Диаметр каната – 23,5 мм.

Масса 1000м. каната – 2130 кг.

Расчет витого стропа (рис. 3)

1. Определяют натяжения (кН) в одном канатном витке стропа:

$$S = \frac{P}{(m \cdot n \cdot \cos \alpha)},$$

где  $P$  – усилие, приложенное к стропу, кН,  $m$  – общее количество ветвей стропа (для витого стропа  $m=2$ );  $n$  – число канатных витков в сечении одной ветви стропа (обычно  $n=7,19$  или 37 витков);  $\alpha$  – угол между ветвью стропа и направлением усилия  $P$  (обычно  $\alpha \leq 30^\circ$ ).

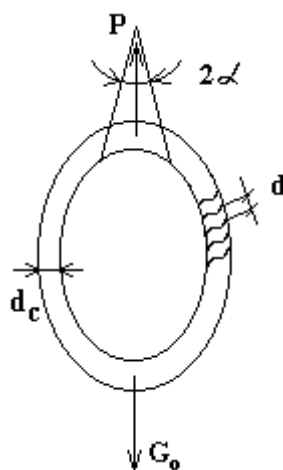


Рис.3 Расчетная схема второго стропа.

2. Находят разрывное усилие (кН) в одном канатном витке стропа:

$$R_x = S \cdot k_3.$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса прочности.

3. По расчетному разрывному усилию, пользуясь таблицей Госта, подбирают стальной канат для витого стропа и определяют его технические данные.

4. Находят расчетный диаметр  $d_c$  поперечного сечения ветви стропа (мм) в зависимости от количества витков в сечении одной ветви:

$$7 \text{ витков} - d_c = 3 \cdot d;$$

$$19 \text{ витков} - d_c = 5 \cdot d;$$

$$37 \text{ витков} - d_c = 7 \cdot d;$$

где  $d$  - диаметр каната для витков стропа.

5. Находят минимальный диаметр захватного устройства:

$$D_3 = k_c \cdot d_c,$$

где  $k_c$  – коэффициент соотношения диаметров захватного устройства и поперечного сечения ветви стропа; минимальная величина его составляет:

для захватного устройства двойной кривизны (типа ковша) -  $k_c \geq 2$

для захватного устройства цилиндрической формы -  $k_c \geq 4$ .

6. Подсчитывают длину каната (м) для изготовления витого стропа:

$$l_k = 2,2 \cdot n \cdot l + 2t,$$

где  $l$  - требуемая длина стропа по центральному витку, м;  $t$  – шаг свивки стропа, равный  $30d$ , м.

Пример 6. Рассчитать витой строп для подъема аппарата массой  $G_0=300$  т. за монтажные штуцера.

Решение:

1. Определяем натяжение в одном канатном витке стропа, задаваясь углом  $\alpha = 20^\circ$ , количеством канатных витков в одной ветви стропа.  $n=19$  шт., имея в виду, что  $P=10G_0$ :

$$S = \frac{P}{(m \cdot n \cdot \cos \alpha)} = \frac{10 \cdot 300}{(2 \cdot 19 \cdot 0,94)} = 84 \text{ кН}.$$

2. Находим разрывное усилие в одном канатном витке:

$$R_k = P \cdot k_3 = 84 \cdot 5 = 420 \text{ кН}.$$

3. Подбираем стальной канат типа ЛК-РО конструкции 6×36 с характеристиками:

Временное сопротивление разрыву -1960 МПа

Разрывное усилие – 430,5 кН.

Диаметр каната – 27 мм.

Масса 1000м. каната – 2800 кг.

4. Находим расчетный диаметр поперечного сечения ветви стропа:

$$d_c = 5 \cdot d = 5 \cdot 27 = 135 \text{ мм.}$$

5. Подсчитываем минимальный диаметр захватывающего устройства:

$$D_3 = k_c \cdot d_c = 4 \cdot 135 = 540 \text{ мм}$$

6. Определяем длину каната для изготовления стропа, задаваясь его длиной  $\ell = 1,5$  м:

$$\ell_k = 2,2 \cdot n \cdot \ell + 2t = 2,2 \cdot 19 \cdot 1,5 + 2 \cdot 0,8 = 64,3 \text{ м,}$$

где  $t = 30d = 30 \cdot 0,027 = 0,8$  м. – шаг свивки стропа.

### 3.3 Расчет траверс

Траверсы представляют собой жесткие грузозахватные приспособления, предназначенные для подъема крупногабаритного и длинномерного оборудования и конструкций при необходимости строповки их за несколько точек. Они изготавливаются сплошного сечения в виде одиночных двутавров, швеллеров или стальных труб различных размеров, а также сквозного сечения, состоящего из парных двутавров или швеллеров, соединенных стальными пластинами, или из стальных труб, усиленных элементами жесткости.

В практике монтажа оборудования применяются траверсы двух типов – работающие на изгиб и на сжатие. Первые конструктивно более тяжелы, но обладают значительно меньшими высотными габаритами, что имеет существенное значение при подъеме оборудования в помещениях с ограниченной высотой, а также при недостаточных высотах подъема крана грузоподъемного механизма. При подъеме оборудования

несколькими кранами разной грузоподъемности применяются балансирные траверсы.

Массы траверсы составляет весьма незначительную долю от массы поднимаемого груза (как правило, менее 0,01), поэтому в практических расчетах изгибающим моментом в траверсе и прогибом от ее собственной массы можно пренебречь.

#### Расчет траверс, работающих на изгиб (Рис. 4)

1. Подсчитывают нагрузку (кН); действующую на траверсу:

$$P = 10G_o k_d k_n,$$

где  $G_o$  – масса поднимаемого груза, т.

2. Определяют изгибающий момент в траверсе (кН·см):

$$M = \frac{PQ}{2}.$$

где  $Q$  – длина плеча траверсы, см.

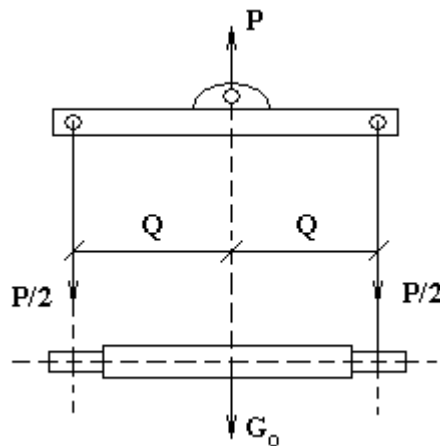


Рис 4. Расчетная схема траверсы, работающей на изгиб.

3. Вычисляют требуемый момент сопротивления поперечного сечения траверсы ( $\text{см}^2$ )

$$W_{\text{тр}} = M / (m \cdot 0.1 \cdot R),$$

где  $m$  и  $R$  подбирают исходя из условий работы и материала.

4. Выбирают для траверсы сплошного сечения одиночный швеллер, двутавр или стальную трубу и по таблицам ГОСТа определяют момент сопротивления  $W_x$  ближайшей большей к  $W_{\text{тр}}$ . 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 их труб, усиленных элементами жесткости, либо, наконец, ремонтной конструкции.

5. Расчет отдельных узлов и деталей траверс (такелажных скоб, проушин, пальцев, сварных и болтовых соединений, канатных подвесок) проводится отдельно

Пример 7. Подобрать и рассчитать сечение балки траверсы, работающей на изгиб, для подъема ротора турбины массой  $G_0=24$ т с расстоянием между канатными подвесками  $l=4$ м.

Решение:

1. Подсчитываем нагрузку, действующую на траверсу:

$$P = 10G_0 k_n k_g = 10 \cdot 24 \cdot 1.1 \cdot 1.1 = 290 \text{ кН}$$

2. Определяем изгибающий момент в траверсе:

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

3. Вычисляем требуемый момент сопротивления поперечного сечения траверсы:

$$W_{тр} = M / (m \cdot 0.1 \cdot R) = 29000 / (0.85 \cdot 0.1 \cdot 210) = 1624 \text{ см}^3$$

4. Выбираем конструкцию балки траверсы сквозного сечения, состоящую из двух двутавров, соединенных стальными пластинами на сварке.

5. Подбрав по таблице ГОСТа два двутавр №40 с  $W_x' = 953 \text{ см}^3$ , определяем момент сопротивления сечения траверсы в целом:

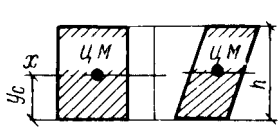
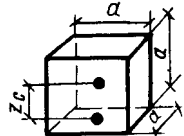
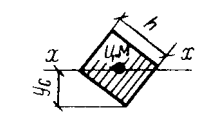
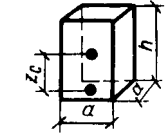
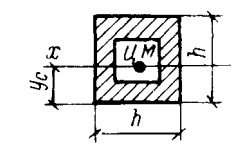
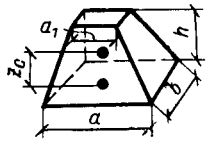
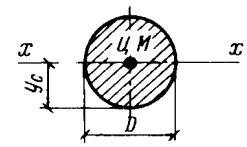
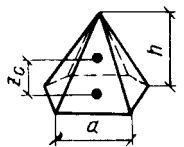
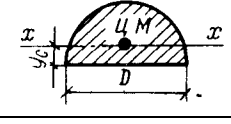
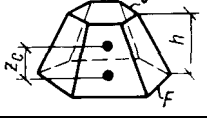
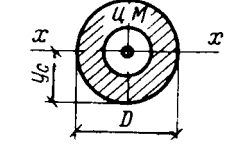
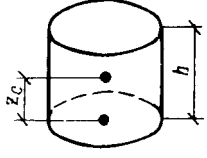
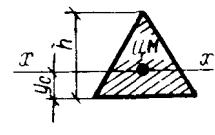
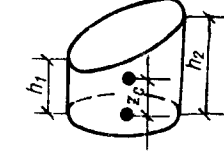
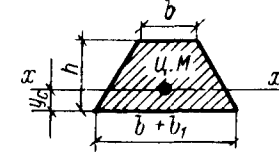
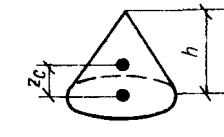
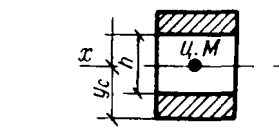
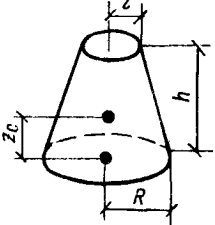
$$W_x = 2W_x' = 2 \cdot 953 = 1906 \text{ см}^3 > W_{тр} = 1624 \text{ см}^3,$$

что удовлетворяет условию прочности расчетного сечения траверсы.



Таблица 1. Положение центра массы некоторых геометрических фигур и тел

тел

Изображение	Положение центра массы	Изображение	Положение центра массы
	$y_c = \frac{h}{2}$		$z_c = \frac{a}{2}$
	$y_c = 0,707h$		$z_c = \frac{h}{2}$
	$y_c = \frac{h}{2}$		$z_c = \frac{h}{2} \times \left( \frac{ab + ab_1 + a_1b + 3a_1b_1}{2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1} \right)$
	$y_c = \frac{D}{2}$		$z_c = \frac{h}{4}$
	$y_c = 0,212D$		$z_c = \frac{h}{4} \times \left( F + 2\sqrt{Ff} + \frac{3f}{F} + \sqrt{Ff} + f \right)$
	$y_c = \frac{D}{2}$		$z_c = \frac{h}{2}$
	Для равнобедренного треугольника $y_c = \frac{1}{3}h$		$z_c = \frac{h_1 + h_2}{2}$
	$y_c = \frac{h}{3} \left( \frac{3b + 2b_1}{2b + b_1} \right)$		$z_c = \frac{h}{4}$
	$y_c = \frac{h}{2}$		$z_c = \frac{h}{4} \left( \frac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2} \right)$

## ЧАСТЬ IV. РАСЧЕТ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ И ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Полиспаст является простейшим грузоподъемным устройством, состоящим из двух блоков, оснащенных стальным канатом, начальный конец которого закрепляется к одному из блоков, другой конец каната, проходя последовательно через ролики блоков в виде сбегающей ветви, идет на барабан лебедки. Полиспаст предназначен для подъема и перемещения грузов, оборудования и конструкций, а также для натяжения грузовых канатов, вант и оттяжек в том случае, когда масса поднимаемого оборудования или натяжения канатов превышает тяговые усилия лебедок.

Принцип расчета полиспастов сводится к подсчету усилий на блоки полиспаста (по ним находят технические характеристики блоков); расчету каната для оснастки полиспаста с определением технических данных и длины каната; подбору тягового механизма. Усилия на блоки полиспаста складываются из возможных в каждом конкретном случае нагрузок, таких как массы грузов, поднимаемых вместе с монтажными приспособлениями, натяжения грузовых и тяговых канатов, расчалок, вант (коэффициенты перегрузки и динамичности не учитываются). При расчете необходимо принимать во внимание назначение полиспаста (подъем грузов или натяжение канатов) и направление сбегающей ветви (с подвижного или неподвижного блоков).

Расчет полиспаста ведется в следующем порядке.

1. Определяют усилие (кН), действующее на крюке подвижного блока полиспаста:

при подъеме груза (рис. 5)

$$P_{\text{п}} = 10G_0 + 10G_3,$$

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

при работе полиспаста в горизонтальном или наклонном положении (рис. 6)

$$P_{\Pi} = P_p,$$

где  $P_p$  — расчетное усилие, действующее на полиспаст при натяжении грузовых и тяговых канатов, оттяжек и вант, кН.

2. Находят усилие (кН), действующее на неподвижный блок полиспаста: при направлении сбегаящей ветви с неподвижного блока (рис 5, а; 6, а)

$$P_{\Pi} = (1,07 \div 1,2) P_{\Pi},$$

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

Грузоподъемность полиспаста, т	До 30	От 30 до 50	От 50 до 200	Более 200
Коэффициент	1,2	1,15	1,1	1,07

при направлении сбегаящей ветви с подвижного блока (рис 5. б; 6, б)

$$P_{\Pi} = P_{\Pi} - S_{\Pi},$$

где  $S_{\Pi}$  — усилие в сбегаящей ветви полиспаста, кН, назначается ориентировочно в зависимости от грузоподъемности полиспастов:

до 50 т . . . . .  $S_{\Pi} = 0,15P_{\Pi}$

от 50 до 150 т . . . . .  $S_{\Pi} = 0,1P_{\Pi}$

более 150 т . . . . .  $S_{\Pi} = 0,08P_{\Pi}$

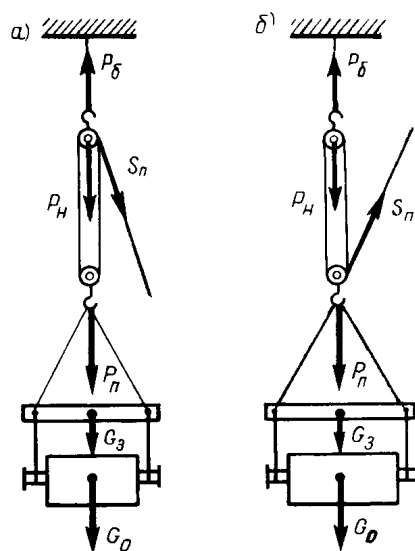


Рис. 5. Расчетные схемы полиспастов расположенных вертикально

3. Исходя из усилий  $P_n$  и  $P_H$ , подбирают подвижный и неподвижный блоки и их технические данные: грузоподъемность, количество и диаметр роликов, массу, а также длину полиспаста в стянутом виде. Практически можно взять оба блока с одинаковыми характеристиками, подобрав их по наибольшему усилию.

4. Находят усилие (кН) в сбегающей ветви полиспаста, являющееся наибольшим:

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

где  $m_n$  — общее количество роликов в полиспасте без учета отводных блоков,  $\eta$  — коэффициент полезного действия полиспаста, учитывающий потери на трение роликов на осях и сопротивление от жесткости каната при огибании им роликов, коэффициент зависит от общего количества роликов (с учетом отводных), а также типа подшипников роликов.

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

6. Подсчитывают длину каната (м) для оснастки полиспаста:

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

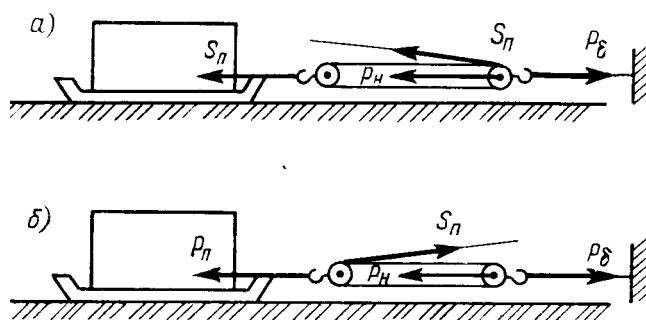


Рис. 6. Расчетные схемы полиспастов, расположенных горизонтально  
где  $h$  — длина полиспаста в полностью растянутом виде, м (назначают исходя из конкретных условий такелажной операции: она соответствует наибольшему расстоянию между неподвижным и подвижным блоками в начальный момент этой операции перед сокращением полиспаста);  $d_p$  — диаметр роликов в блоках, м;  $l_1$  — длина сбегающей ветви от ролика блока, с которого она сходит, до барабана лебедки, м;  $l_2$  — расчетный запас длины каната:  $l_2 = 10$  м.

7. Подсчитывают суммарную массу полиспаста (т):

$$G_g = G_б + G_k,$$

где  $G_б$  — масса обоих блоков полиспаста, т;  $G_k$  — масса каната для оснастки полиспаста, т:  $G_k = Lg_k/1000$ ;  $g_k$  — масса 1000 м каната.

8. Определяют усилие (кН), действующее на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста:

при подъеме груза со сбегающей ветвью, сходящей с неподвижного блока (рис. 5, а),

$$P_б = 10G_о + 10G_a + 10G_n + S_n,$$

Таблица 2. Значения коэффициентов полезного действия полиспаств  $\eta$

Общее количество роликов полиспаства	Тип подшипника		Общее количество роликов полиспаства	Тип подшипника		Общее количество роликов полиспаства	Тип подшипника	
	скольжения	качения		скольжения	качения		скольжения	качения
1	0,960	0,980	11	0,638	0,800	21	0,424	0,653
2	0,922	0,960	12	0,613	0,783	22	0,407	0,640
3	0,886	0,940	13	0,589	0,767	23	0,390	0,628
4	0,851	0,921	14	0,566	0,752	24	0,375	0,615
5	0,817	0,903	15	0,543	0,736	25	0,360	0,604
6	0,783	0,884	16	0,521	0,722	26	0,347	0,593
7	0,752	0,866	17	0,500	0,708	27	0,332	0,581
8	0,722	0,849	18	0,480	0,693	28	0,318	0,569
9	0,693	0,832	19	0,460	0,680	29	0,306	0,558
10	0,664	0,814	20	0,442	0,667	30	0,293	0,547

то же, со сбегающей ветвью, сходящей с подвижного блока (рис 5, б),

$$P_{\sigma} = 10G_{\sigma} + 10G_{\tau} + 10G_{\pi} - S_{\pi};$$

при горизонтальном или наклонном положении полиспаства со сбегающей ветвью, сходящей с неподвижного блока (рис. 6, а),

$$P_{\sigma} = P_{\rho} + 10G_{\pi} + S_{\pi},$$

то же, со сбегающей ветвью, сходящей с подвижного блока (рис 6, б),

$$P_{\sigma} = P_{\rho} + 10G_{\pi} - S_{\pi}.$$

9. По усилию  $P_6$  рассчитывают канат для крепления неподвижного блока полиспаста.

10. По усилию в сбегающей ветви полиспаста  $S_n$  подбирают тяговый механизм — лебедку.

Пример 8. Рассчитать и подобрать полиспаст для подъема горизонтального цилиндрического аппарата массой  $G_0 = 70$  т с помощью траверсы массой  $G_g = 1$  т на высоту  $h = 12$  м (рис. 5, а).

Решение:

1. Подсчитываем усилие, действующее на подвижный блок полиспаста:

$$P_n = 10G_0 + 10G_g = 10 \cdot 70 + 10 \cdot 1 = 710 \text{ кН.}$$

2. Находим усилие, действующее на неподвижный блок полиспаста:

$$P_{\text{н}} = 1,1P_n = 1,1 \cdot 710 = 781 \text{ кН.}$$

3. Выбираем оба блока по наибольшему усилию  $P_{\text{н}}$  со следующими характеристиками: грузоподъемность — 100 т, количество роликов — 5 штук диаметром 700 мм, масса — 1605 кг. Таким образом, в полиспасте, состоящем из двух блоков, общее количество роликов  $m_n = 5 \cdot 2 = 10$  шт, масса  $G_6 = 1605 \cdot 2 = 3210$  кг.

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

$$S_n = P_n / (m_n \eta) = 710 / (10 \cdot 0,783) = 91 \text{ кН.}$$

5. Находим разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста:

$$R_{\text{к}} = S_n \kappa_3 = 91 \cdot 4 = 364 \text{ кН,}$$

где  $\kappa_3$  - коэффициент запаса прочности при  $D/d$  от 13 до 16.

6. По таблице ГОСТа подбираем для оснастки полиспаста канат типа ЛК-РО конструкции 6 x 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 сбегавшей ветви  $l_1=25$  м и считая длину полиспаста в растянутом виде равной высоте подъема аппарата  $h = 12$  м:

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

8. Находим суммарную массу полиспаста:

$$G_{\text{п}} = G_{\text{б}} + G_{\text{к}} = G_{\text{б}} + Lg_{\text{к}}/1000 = 3200 + 177 \cdot 2800/1000 = 3700 \text{ кг.}$$

9. Определяем усилие на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста:

$$P_{\text{б}} = 10G_{\text{о}} + 10G_{\text{з}} + 10G_{\text{п}} + S_{\text{п}} = 10 \cdot 70 + 10 \cdot 1 + 10 \cdot 3,7 + 91 = \\ = 838 \text{ кН.}$$

10. Приняв канат для крепления верхнего блока полиспаста из 8 ветвей и определив коэффициент запаса прочности  $\kappa_3=6$ , как для стропа, подсчитываем разрывное усилие в каждой ветви крепящего каната:

$$R_{\text{к}} = P_{\text{б}}\kappa_3/8 = 838 \cdot 6/8 = 628,5 \text{ кН.}$$

11. По таблице ГОСТа подбираем канат типа ЛК-РО конструкции 6 X 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 подбираем электролебедку типа ЛМЭ-10-510 с тяговым усилием 100 кН и канатоемкостью 510 м.

#### 4.1. Определение наименьших допустимых диаметров роликов и барабанов

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

$$D \geq de,$$

Таблица 3. Минимальные допускаемые значения коэффициента  $e$

Тип механизма	Привод и режим работы	Коэффициент $e$
Грузоподъемные механизмы (все, за исключением стреловых кранов, электроталей и лебедок)	Ручной	18
	Машинный:	
	легкий	20
	средний	25
	тяжелый	30
Краны стреловые	Ручной	16
	Машинный:	
	легкий	16
	средний	18
	тяжелый	20
Тельферы	–	20
Лебедки	Ручной	12
	Машинный	20

где  $d$  — диаметр каната, мм;  $e$  - коэффициент, зависящий от типа механизма и режима его работы (табл. 3).

Пример 9. Определить наименьший допустимый диаметр ролика отводного блока для каната диаметром  $d = 15$  мм от электролебедки с легким режимом работы.

Решение:

1. Находим наименьший допустимый диаметр ролика отводного блока:

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

2. Принимаем однорольный блок грузоподъемностью 10 т с диаметром ролика  $d_p = 300$  мм.

#### 4.2. Определение канатоемкости и расчет закрепления лебедок

При эксплуатации лебедок часто приходится определять их канатоемкость, обеспечивать надежное крепление от сдвига и опрокидывания. Правильность решения этих вопросов должна подтверждаться расчетами.

1. Канатоемкость лебедки зависит от длины и диаметра ее барабана  $L_b$  и  $D_b$ , количества слоев навивки каната на барабане  $n$  и диаметра каната  $d$ , которые выбираются из паспорта. Канатоемкость (м) определяют по формуле:

$$L_{\text{к}} = \frac{\pi z n (D_b + dn)}{1000} - \frac{2\pi D_b}{1000},$$

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

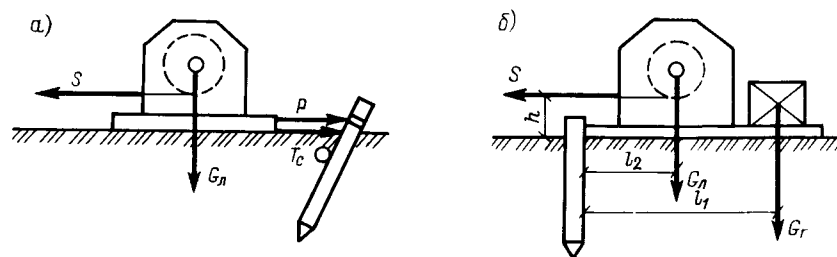


Рис. 7. Расчетная схема крепления лебедки

3. Рассчитывают крепление лебедки от горизонтального смещения (рис.

7, а):

$$P = S - T_c,$$

где  $P$  — усилие, препятствующее смещению лебедки, кН;  $S$  - тяговое усилие лебедки, кН;  $T_c$  – сила трения рамы лебедки об опорную поверхность, кН:

$T_c = 10 (G_{л} + G_{г}) f'$ ,  $G_{л}$  – масса лебедки, т;  $G_{г}$  – масса контргруза, т (если он применяется);  $f'$  – коэффициент трения скольжения.

По усилию  $P$  рассчитывают элементы, закрепляющие лебедку от смещения, - канат, якорь.

3. Если необходимо, рассчитывают крепление лебедки от опрокидывания с помощью контргруза (рис. 7, б), масса которого ( $t$ ), определяется по формуле

$$G_{г} = \frac{k_y (Sh - 10G_{л}l_2)}{10l_1},$$

где  $k_y$  – коэффициент устойчивости лебедки:  $k_y=2$ ;  $S$  — тяговое усилие лебедки, кН;  $h$  — высота каната от опорной поверхности, м;  $l_1$  и  $l_2$  — расстояния в метрах от ребра опрокидывания до линий действия, соответственно  $G_{л}$  и  $G_{г}$ .

Пример 9. Определить канатоемкость лебедки для каната диаметром  $d = 18$  мм, если известно, что длина барабана  $L_Q = 1200$  мм, диаметр барабана  $D_0 = 350$  мм, количество слоев навивки каната на барабане  $n = 5$ .

Решение.

1. Определяем шаг навивки каната на барабан лебедки:

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

2. Подсчитываем число витков каната на длине барабана:

$$z = L_0/t = 1200/19,8 = 61.$$

3. Определяем канатоемкость лебедки:

$$L_{к} = \frac{\pi z n (D_0 + dn)}{1000} - \frac{2\pi D_0}{1000} = \frac{3,14 \cdot 61 \cdot 5 (350 + 18 \cdot 5)}{1000} - \frac{2 \cdot 314 \cdot 350}{1000} = 418 \text{ м.}$$

Пример 10. Рассчитать элементы закрепления электролебедки типа ЛМ-5М, установленной на бетонном полу цеха без контргруза (рис. 7, а).

Решение:

1. Находим силу трения лебедки о бетонный пол, определив  $G_{л} = 1,2$  т. и  $f = 0,45$ :

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

2. Определяем усилие на закрепляющий лебедку канат:

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

где  $S$  — тяговое усилие лебедки типа ЛМ-5М, кН.

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

Пример 11. Найти массу контргруза для крепления ручной 5-тонной лебедки с учетом следующих данных:  $h = 0,7$  м;  $G_{л} = 0,8$  т;  $l_1 = 0,9$  м;  $l_2 = 2,1$  м.

Решение:

Находим массу контргруза, обеспечивающего устойчивость лебедки от опрокидывания:

$$G_r = \frac{\kappa_y (Sh - 10G_{л}l_2)}{10l_1} = \frac{2 (50 \cdot 0,7 - 10 \cdot 0,8 \cdot 0,9)}{10 \cdot 2,1} = 2,6 \text{ т.}$$

## ЧАСТЬ V. РАСЧЕТ ЯКОРЕЙ

### 5.1. Расчет полузаглубленных якорей

Эти якоря состоят из железобетонных блоков массой по 7,5 т, размером, как правило, 900х900х4000 мм, часть из которых заглубляется в грунт. Тяга крепится к заглубленным блокам. Длинная грань заглубленных блоков располагается перпендикулярно грузовой канатной тяге.

Особенностью расчета 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.

Расчет полузаглубленного якоря сводится к проверке якоря на отрыв от грунта, вертикальной составляющей усилия, действующего на якорь, определению удельного давления на стенку котлована гранью заглубленного

блока от горизонтальной составляющей усилия, действующего на якорь, и сравнению этого давления с допусковым.

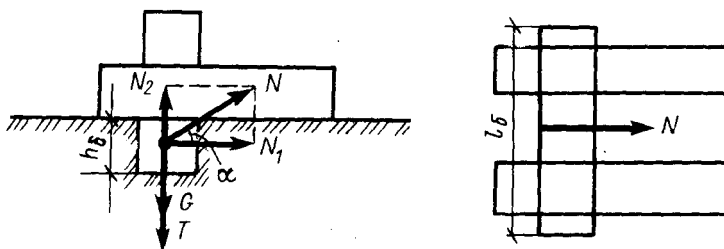


Рис. 8. Расчетная схема инвентарного полузаглубленного якоря

Расчетное удельное давление должно быть меньше допускового, 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 проверки якоря на опрокидывание. Это объясняется тем, что опрокидывающий момент, создаваемый тяговым канатом, закрепленным за самый нижний заглубленный блок, значительно меньше удерживающего от массы якоря. Кроме того, якорь, состоящий из блоков, не связанных между собой жестко, не является монолитной конструкцией.

Полузаглубленный якорь рассчитывается следующим образом (рис. 8).

1. Проверяют якорь на отрыв от грунта вертикальным усилием:

$$10G + T \geq k_y N_2,$$

где  $G$  — масса якоря, т (величиной  $G$  задаются, считая, что она должна несколько превышать тяговое усилие, действующее на якорь);  $T$  — сила трения заглубленного 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;  $N_1 = N \cos \alpha$  (здесь  $\alpha$  - 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 заглубленного блока, см;  $h_6$  — высота заглубленного блока, см;

$\eta$  — коэффициент уменьшения допускаемого давления, учитывающий неравномерность смятия (принимается равным 0,25);  $[\sigma_r]$  — допускаемое удельное давление на грунт данной категории.

Пример 12. Рассчитать инвентарный полузаглубленный 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 0,9x0,9x4 м, массой  $\kappa = 7,5$  т каждый:

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

2. Определяем силу трения заглубленного 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. 8:

$$10G + T > \kappa_y N_2,$$

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

Полученное неравенство свидетельствует об устойчивости якоря на отрыв от грунта.

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

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

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

## 5.2. Расчет заглубленных якорей

В зависимости от величины воспринимаемого усилия горизонтальные якоря, представляющие собой заглубленные горизонтально расположенные анкеры в виде бревен, обрезков стальных труб или бетонных плит прямоугольного сечения с выводом на поверхность каната или троса, изготовленного из профильной стали, выполняются двух типов. Для нагрузок до 200 кН используются якоря облегченного типа, в которых анкеры укладываются непосредственно в котлован, а для нагрузок свыше 200 кН — усиленные якоря с укреплением вертикальной стенки котлована щитом из бревен.

Рассмотрим порядок расчета якорей этих типов с анкерами из бревен или стальных труб.

Расчет облегченных заглубленных якорей.

При расчете заглубленных якорей определяются:

устойчивость якоря от вырывания при действии вертикальных сил;

давление на грунт от горизонтальных сил;

сечение элементов якоря.

Расчет выполняется в следующем порядке:

1. Проверяют устойчивость якоря при действии вертикальных сил (рис. 9, а):

$$10G_r + T > \kappa_y N_2,$$

где  $G_r$  — масса грунта котлована, т;  $T$  — сила трения анкера о стенку котлована, кН;  $\kappa_y$  — коэффициент устойчивости якоря:  $\kappa_y = 3$ ;  $N_2$  — 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;  $\gamma$  — объемная масса грунта, т/м<sup>3</sup> (в среднем  $\gamma = 1,5$  т/м<sup>3</sup>);

$$T = fN_1 = fN \cos \alpha,$$

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 учетом коэффициентов перегрузки и динамичности;  $\alpha$  — угол наклона грузовой тяги якоря к горизонту;

$$N_2 = N \sin \alpha.$$

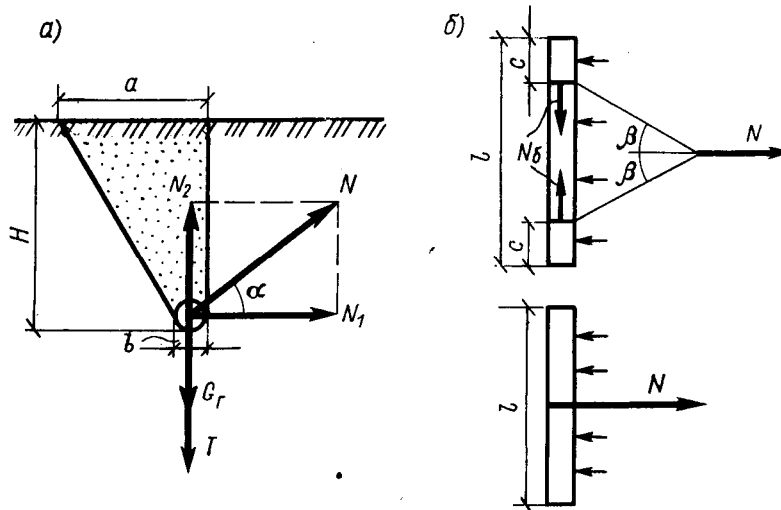


Рис. 9. Расчетные схемы заглубленного облегченного якоря

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

$$\sigma_r = N_1 / (ldn\eta) \leq [\sigma_r],$$

где  $d$  — диаметр анкера, см;  $n$  — количество бревен или труб, соприкасающихся со стенкой котлована;  $\eta$  — коэффициент уменьшения допускаемого давления, учитывающий неравномерность смятия (принимается равным 0,25);  $[\sigma_r]$  — допускаемое удельное давление на грунт данной категории при расчетной глубине заложения анкера, МПа; принимается для:

- плотно слежавшегося гравия ..... 0,50—0,80
- 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

3. Анкер на прочность может рассчитываться для двух случаев: якорь с одной тягой и с двумя тягами (рис. 9, б). В якорях с бетонными анкерами грузовые тяги привариваются к балкам, заложенным по всей длине бетонного массива, и расчет на прочность таких анкеров обычно не выполняется. Ниже приводятся расчеты для анкеров с одной и двумя тягами.

Якорь с одной тягой.

Определяют максимальный изгибающий момент в анкере (кН·см):

$$M = ql^2/8 = Nil/8,$$

где  $q$  — равномерно распределенная нагрузка на анкер:  $q = Nil$ .

Находят требуемый момент сопротивления сечения анкера в целом (см<sup>3</sup>):

$$W_{тр} = M/(m0,1R),$$

где  $m$  — коэффициент условия работы:  $m = 0,85$ ;  $R$  — расчетное сопротивление анкера, работающего на изгиб (для бревен  $R = 13$  МПа).

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

$$d = \sqrt[3]{10W_{тр}/n},$$

где  $n$  — количество бревен (величиной  $n$  задаются).

Якорь с двумя тягами.

Определяют максимальный изгибающий момент в анкере (кН·см):

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

где  $c$  — расстояние от конца анкера до точки крепления тяги в см.

Находят усилие, сжимающее анкер (кН):

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

где  $\beta$  — угол между тягой и направлением усилия  $N$ .

Проверяют анкер на прочность при его изгибе и сжатии, задаваясь диаметром бревен или стальных труб и их количеством:

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

где  $F$  — суммарная площадь сечения бревен или труб в  $\text{см}^2$ , (для бревен  $F = 0,785 d^2 n$ );  $W_x$  — суммарный момент сопротивления сечения бревен или труб,  $\text{см}^3$  (для бревен  $W_x = 0,1 d^3 n$ ).

### 5.3. Расчет усиленных заглубленных якорей

Принцип расчета этого типа якоря аналогичен расчету облегченного якоря (рис. 9).

1. Определяют устойчивость якоря от действия вертикальных сил:

$$10G_r + T > \kappa_y N_3,$$

где  $G_r$  — масса грунта котлована, т:  $G_r = \text{Half}$ ;  $\kappa_y$  — коэффициент устойчивости якоря:  $\kappa_y = 2$ . Остальные обозначения и расчеты такие же, как и для облегченного якоря. Коэффициент трения анкера по бревенчатой стенке принимается равным 0,4.

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

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

где  $h$  — высота вертикального щита в см.

3. Расчет сечения анкера аналогичен расчету облегченного якоря.

Пример 13. Рассчитать заглубленный якорь для крепления тормозной оттяжки с усилием  $N = 180$  кН, направленной под углом к горизонту  $\alpha = 35^\circ$ . Грунт — плотно слежавшийся гравий.

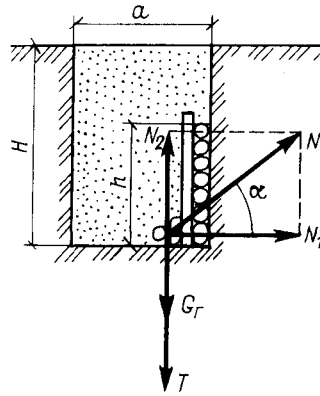


Рис. 10. Расчетная схема усиленного заглубленного якоря

Решение:

1. Задаемся следующими размерами элементов якоря: ширина верхнего основания котлована  $a = 3$  м; ширина нижнего основания котлована  $b = 0,5$  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  $N_2$ .

$$10G_r + T > \kappa_y N_2;$$

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

Полученное неравенство свидетельствует об устойчивости якоря от вырывания из грунта.

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

$$\sigma_r = \frac{N_1}{l d n \eta} < [\sigma_r], \quad \sigma_r = \frac{147,5}{320 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 0,25} = 0,03 \text{ кН/см}^2 = 0,3 \text{ МПа} < [\sigma_r] = 0,5 \text{ МПа,}$$

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

7. Выбирая тип якоря с одной тягой, определяем изгибающий момент в бревнах:

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

8. Находим требуемый момент сопротивления сечения бревен:

$$W_{\text{тр}} = \frac{M}{(\sigma \cdot 0.1R)} = \frac{7200}{0.85 \cdot 0.1 \cdot 13} = 6515 \text{ см}^3$$

9. Находим диаметр бревен:

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

## **ЧАСТЬ VI. РАСЧЕТ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ МАЧТОВО-СТРЕЛОВОГО ТИПА**

### **6.1. Расчет монтажных мачт**

Монтажные мачты нашли широкое применение при монтаже тяжеловесного крупногабаритного оборудования, масса и размеры которого выходят за пределы грузовысотных характеристик стреловых самоходных кранов. Кроме того, мачты используются в тех случаях, когда работа кранов невозможна, т. е. в стесненных условиях монтажа.

В зависимости от грузоподъемности и высоты монтажные мачты выполняются в виде стержней из стальных труб — трубчатые мачты или из четырех поясных уголков, связанных решеткой, — решетчатые мачты.

Монтажные мачты изготавливаются из секций разной длины, что упрощает их транспортировку и позволяет изменять их высоту. Секции трубчатых мачт собираются на фланцах, а решетчатых — встык с уголковыми накладками на болтах.

В монтажной практике нашли применение мачты грузоподъемностью до 500 т и высотой до 60 м, а при использовании их в спаренном виде возможен подъем аппаратов 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. Расчет мачт для этих вариантов имеет свои особенности.

В настоящей главе рассматриваются вопросы по расчету монтажных мачт: определение минимальной высоты мачты, выбор схемы ее сечения, нахождение необходимой площади ее сечения, проверка мачты на прочность и устойчивость.

Расчеты элементов мачты — косынок и пальцев для крепления блоков и шарниров, фланцевых, сварных и болтовых соединений, а также основания под мачту даны в соответствующих параграфах данного пособия.

Весь расчетный материал этой главы располагается в нижеприведенной последовательности:

1) общие расчеты для всех типов мачт:

расчет минимальной высоты мачты;

расчет суммарных сжимающих усилий, действующих по оси мачты;

расчет изгибающих моментов (кроме мачт с симметричной нагрузкой);

2) расчеты, относящиеся к определенному типу мачты:

расчет трубчатой симметрично нагруженной мачты;

расчет трубчатой консольно нагруженной или наклонной мачты;

расчет решетчатой симметрично нагруженной мачты.

## **6.2. Расчет минимальной высоты монтажной мачты**

Трубчатые монтажные мачты обычно изготавливаются высотой до 30 м, а решетчатые – до 60 м. В каждом конкретном случае необходимо стремиться использовать мачты минимальной высоты, обеспечивая при этом подъем и установку оборудования в проектное положение. Следует иметь в виду, что с увеличением высоты снижается грузоподъемность мачты, трудоемкость на сборку ее увеличивается, а установка в рабочее положение усложняется.

Высота мачты зависит не только от габаритов поднимаемого оборудования и высотной отметки его установки, а также от способа подъема и строповки этого оборудования. Подъем аппаратов вертикального типа обычно выполняется способами скольжения или поворота вокруг шарнира, а строповка их осуществляется на разной высоте в промежутке от центра массы до вершины аппарата. Все это существенно влияет на выбор высоты монтажной мачты.

Минимальная высота мачты ( $m$ ) определяется следующим образом:

при подъеме оборудования способом скольжения с отрывом от земли (рис. 11,а)

$$H = h_{\Phi} + h_3 + h_0 + h_c + h_{\Pi} + h_{ог},$$

где  $H_{\Phi}$ , — высота фундамента в м;  $h_3$  — запас высоты над фундаментом (в среднем  $h_3 = 0,5$  м);  $h_0$  — расстояние от основания аппарата до места строповки в м;  $h_c$  — высота стропа, м (задаются в зависимости от поперечных габаритов оборудования и способа строповки);  $h_{\Pi}$  — высота полиспаста в стянутом виде, м  $h_{ог}$  — высота оголовка мачты, м (зависит от конструкции оголовка и составляет обычно от 0,5 до 1,0 м);

при подъеме оборудования способом поворота вокруг шарнира (рис. 11, б)

$$H = h_{\Phi} + h_0 + h_{ог}.$$

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

Высоту наклонной мачты определяют с учетом угла наклона мачты к вертикали  $\delta$  (рис. 11, б)

$$H_{\Pi} = H/\cos \delta.$$

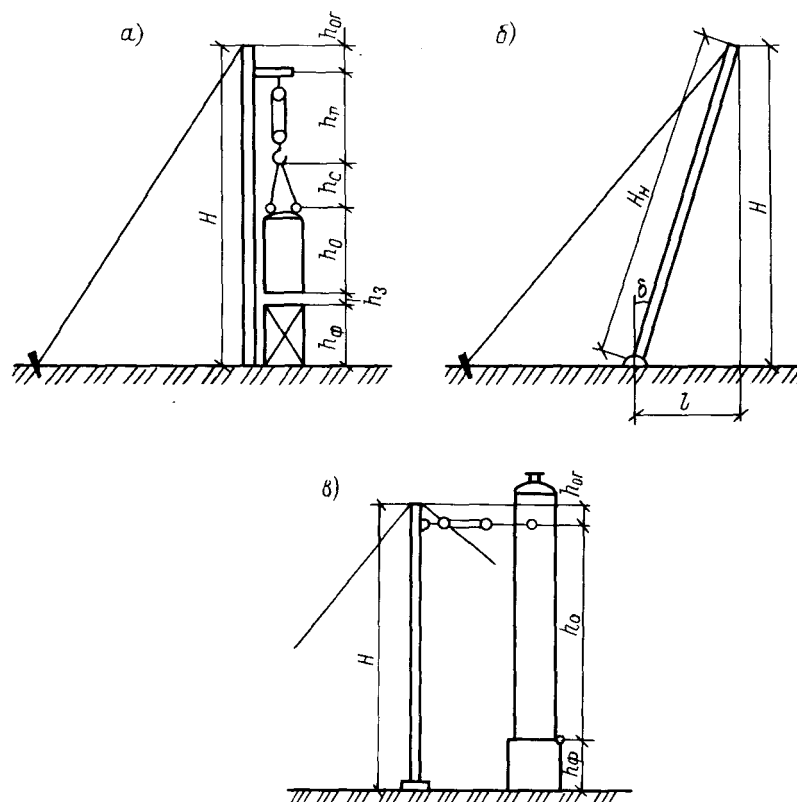


Рис. 11. Расчетные схемы высоты монтажной мачты

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. 12, а):

$$N = 10G_o \kappa_{\Pi} \kappa_{\Pi} + 20G_{\Gamma\Pi} \kappa_{\Pi} + 10G_{\mathcal{M}} \kappa_{\Pi} + 2S_{\Pi} + S_{\Pi. \text{ в}};$$

для вертикальной мачты с одним полиспастом, подвешенным на консоли (рис. 12, б):

$$N = 10G_o \kappa_{\Pi} \kappa_{\Pi} + 10G_{\Gamma\Pi} \kappa_{\Pi} + 10G_{\mathcal{M}} \kappa_{\Pi} + S_{\Pi} + S_{\Pi. \text{ в}} + S_{\text{р. в}};$$

для вертикальной мачты с одним полиспастом, направленным к мачте под углом (рис. 12, в):

$$N = P_{\Pi} \kappa_{\Pi} \kappa_{\Pi} \cos \beta + 10G_{\Gamma\Pi} \kappa_{\Pi} + 10G_{\mathcal{M}} \kappa_{\Pi} + S_{\Pi} + S_{\Pi. \text{ в}} + S_{\text{р. в}};$$

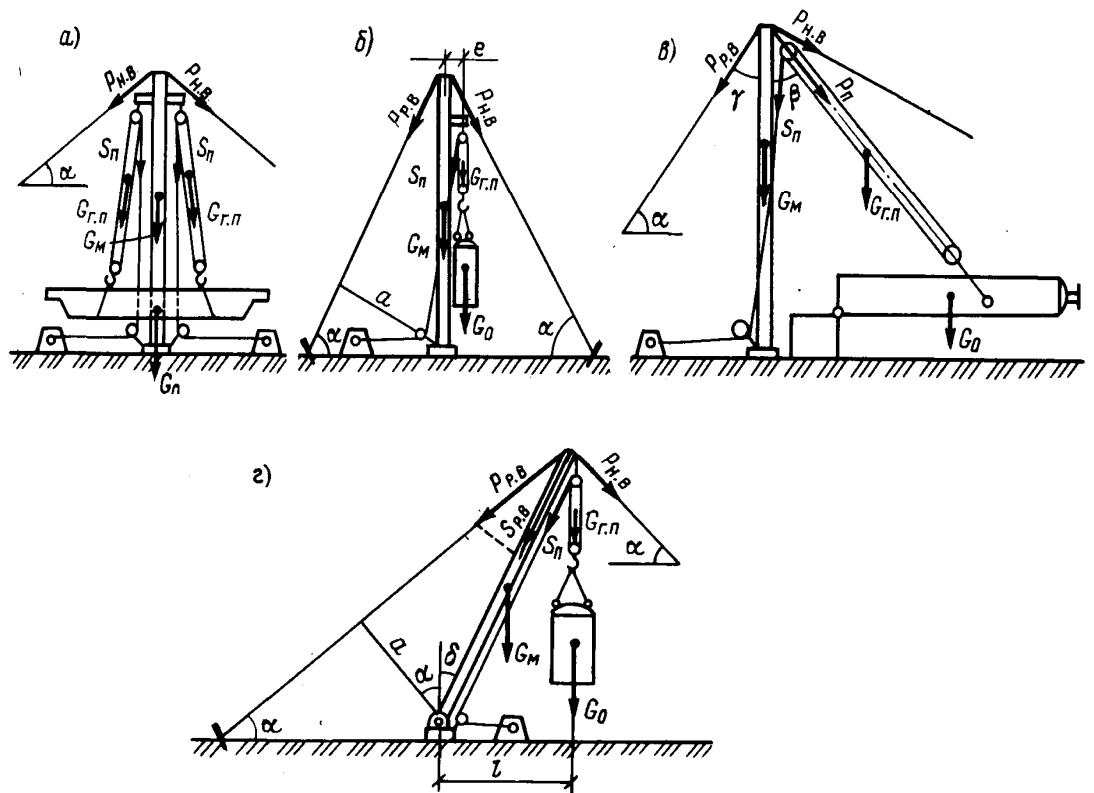


Рис. 12. Расчетные схемы монтажных мачт

для наклонной мачты с одним полиспастом, подвешенным на консоли (рис. 12, г):

$$N = 10G_0\kappa_{п}\kappa_{д} \cos \delta + 10G_{г.п}\kappa_{п} \cos \delta + 5G_{м}\kappa_{п} \cos \delta + S_{п} + S_{н.в} + S_{р.в},$$

где  $G_0$  — масса поднимаемого оборудования, т;  $G_{г.п}$  — масса грузового полиспаста в т;  $G_{м}$  — масса мачты в т (определяют вначале ориентировочно: для решетчатой — в зависимости от  $G_0$  и  $H$  по формуле  $G_{м} = (0,002 \div 0,005) G_0 H$ , для схемы подъема (рис. 12, в)  $G_{м} = (0,0002 \div 0,0005) 1,5 P_{п} H$ ;  $P_{п}$  — усилие в грузовом полиспасте в кН;  $S_{д}$  — усилие в сбегающей ветви полиспаста в кН (определяется при расчете полиспаста);  $S_{н.в}$  — сжимающее усилие от нерабочих вант в кН (определяется по формулам: для вертикальной мачты  $S_{н.в} = nP_{н.в} \sin \alpha$ , для наклонной мачты  $S_{н.в} = nP_{н.в} \sin (\alpha - \delta)$ ;  $n$  — количество нерабочих вант (величиной  $n$  задаются);  $P_{н.в}$  — усилие первоначального натяжения вант ( $\alpha$  — угол наклона вант к горизонту (не



$>45^\circ$ );  $\delta$  — угол наклона мачты к вертикали (назначают в зависимости от необходимого вылета мачты  $l$ , рис. 12, г);  $S_{р.в}$  — сжимающее усилие от рабочей задней ванты в кН, которое найдется:

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

$$S_{р.в} = P_{р.в} \sin \alpha;$$

для наклонной мачты путем графического построения (рис. 12, г) или исходя из следующих соотношений:

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

где  $P$  — усилие, приложенное к оголовку мачты в кН, без учета влияния нерабочих вант:

для вертикальной мачты:  $P = 10G_{о.к.п.к.д} + 10G_{г.п.к.п} + S_{п};$

для наклонной мачты:  $P = 10G_{о.к.п.к.д} + 10G_{г.п.к.п} + 5G_{м.к.п};$

$P_{р.в}$  — усилие в рабочей задней ванте в кН:

для вертикальной мачты с консольной подвеской полиспаста  $P_{р.в} = Pe/a + P_{р.в};$

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

$$P_{р.в} = P_{п} \sin \beta / \sin \gamma;$$

для наклонной мачты  $P_{р.в} = Pl/a;$   $e$  — эксцентриситет подвески полиспаста, м, равный расстоянию от оси мачты до точки подвески полиспаста (от 0,2 до 0,9 м);

$l$  — величина вылета мачты, м:  $l = H_{н} \sin \delta;$   $a$  — расстояние от пяты мачты до задней ванты, м: для вертикальной мачты  $a = H \cos \alpha;$  для наклонной мачты  $a = H_{н} \cos (\alpha + \delta),$  при этом угол заложения задней ванты  $\alpha$  уменьшается с увеличением угла наклона мачты  $\delta$  и может быть найден из следующего соотношения:

$\delta^\circ$	...	0	5	10	15	20	25	30
$\alpha^\circ$	...	45	42,5	40	37,5	35	32,5	30

$\beta, \gamma$  — углы между мачтой и полиспастом, мачтой и рабочей задней вантой.

### 6.3. 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, закрепленным на консоли в случае крепления рабочей задней ванта 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

$$M_o = (10G_o\kappa_{\Pi}\kappa_{\Delta} + 10G_{\Pi}\kappa_{\Pi} + S_{\Pi})e;$$

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

$$M_{ср} = 2(10G_o\kappa_{\Pi}\kappa_{\Delta} + 10G_{\Pi}\kappa_{\Pi} + S_{\Pi})e/3;$$

для наклонной мачты с консольной подвеской полиспаста:

в месте крепления полиспаста

$$M_o = (10G_o\kappa_{\Pi}\kappa_{\Delta} \cos \delta + 10G_{\Pi}\kappa_{\Pi} \cos \delta + S_{\Pi})e - 10G_{\Pi}\kappa_{\Pi}l/8;$$

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

$$M_{ср} = 2(10G_o\kappa_{\Pi}\kappa_{\Delta} \cos \delta + 10G_{\Pi}\kappa_{\Pi} \cos \delta + S_{\Pi})e/3 - 10G_{\Pi}\kappa_{\Pi}l/8;$$

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

$$M = 10G_m \kappa_{\Pi} l/8.$$

В том случае, если сбегающая ветвь полиспаста проходит внутри мачты, как это часто встречается в решетчатых мачтах, усилие в ней  $S_{\Pi}$  при подсчете изгибающего момента не учитывается.

#### 6.4. Расчет трубчатых мачт

##### Симметрично нагруженная мачта, работающая на центральное сжатие

Выполнив расчеты по определению минимальной высоты мачты  $H$  и суммарного сжимающего усилия  $N$ , как было указано выше, приступают к расчету поперечного сечения мачты и проверке ее на устойчивость.

1. Определяют требуемую площадь поперечного сечения мачты, ( $\text{см}^2$ ):

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

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

2. Находят расчетную длину мачты (м):

$$H_{\text{м}} = \mu H,$$

где  $\varphi_0$  — коэффициент приведения расчетной длины, для монтажной мачты  $\varphi = 1$ .

3. По таблице ГОСТа подбирают сечение стальной трубы (наружный диаметр и толщину стенки), определяя площадь сечения  $F^T > F_{\text{тр}}$  ( $\text{см}^2$ ) и радиус инерции  $r^T$  (см).

4. Определяют гибкость мачты:

$$\lambda = H_{\text{м}}/r^T < [\lambda],$$

где  $[\lambda]$  — предельная гибкость, для трубчатой мачты  $M = 180$ .

5. Определяют коэффициент продольного изгиба  $\varphi$ , соответствующий расчетной гибкости  $\lambda$ .

6. Полученное сечение трубы для мачты проверяют на устойчивость:

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

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

Пример 14. Рассчитать высоту и сечение вертикальной трубчатой монтажной мачты для подъема 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. Подъем выполняется двумя симметрично подвешенными полиспастами (рис. 12, а).

Решение.

1. Задавшись размерами  $h_3 = 0,5$  м,  $h_c = 3$  м,  $h_{ог} = 0,5$  м и определив 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.

2. Рассчитываем полиспаст:

определяем на каждый полиспаст нагрузку, 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:

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

Выбираем для каждого полиспаста два блока грузоподъемностью 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  $G_б = 670 \cdot 2 = 1340$  кг, а по табл. 2 определяем коэффициент полезного действия полиспаста с подшипниками

качения и, принимая один отводной блок  $\eta = 0,8$ , производим следующие действия:

а) подсчитываем усилие в сбегавшей ветви полиспаста:

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

б) находим разрывное усилие в сбегавшей ветви полиспаста, определив коэффициент запаса прочности  $k_3 = 5$ ,

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

в) по таблице ГОСТа 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. ....	764
разрывное усилие, кН .....	175,5
диаметр каната, мм .....	18
масса 1000 м каната, кг.....	1245

г) подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста, задаваясь длиной сбегавшей ветви  $l_1 = 40$  м,

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

д) находим суммарную массу полиспаста

$$\begin{aligned} G_{\text{п}} &= G_{\text{б}} + G_{\text{к}} = G_{\text{б}} + L g_{\text{к}} / 1000 = 1340 + 263 \cdot 1245 / 1000 = \\ &= 1670 \text{ кг} = 1,7 \text{ т}. \end{aligned}$$

3. 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:

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

где  $G_{\text{м}} = g^T H = 142,25 \cdot 25 = 3556 \text{ кг} = 3,6 \text{ т}$  (здесь  $g^T$  — масса 1 м стальной трубы для сечения трубы 426/14 мм);  $S_{\text{н. в.}} = n P_{\text{н. в.}} \sin \alpha = 4 \cdot 25 \cdot 0,423 = 42,3 \text{ кН}$ .

4. Определяем требуемую площадь поперечного сечения мачты:

$$F_{\text{тп}} = N / (\varphi_0 m_0,1 R) = 840 / (0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,1 \cdot 210) = 111 \text{ см}^2.$$

5. Находим расчетную длину мачты:

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

6. Подбираем сечение стальной трубы 426/14 мм с площадью сечения  $F^T = 181 \text{ см}^2 > F_{тр}$  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. 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 свидетельствует об устойчивости расчетного сечения мачты.

### **6.5 Мачта с консольно закрепленным полиспастом и наклонная мачта, работающие на внецентренное сжатие.**

Определив высоту мачты  $H$ , суммарное сжимающее усилие  $N$  и максимальный изгибающий момент  $M$ , как указано выше, производят расчет поперечного сечения мачты и проверку ее на устойчивость. Эти расчеты выполняются следующим образом.

1. Назначают приблизительно наружный диаметр и толщину стенки стальной трубы, затем для данного размера трубы определяют площадь ее сечения  $F^T = F_m$ , момент сопротивления сечения  $W^T = W_m$  и радиус инерции  $r^T = r_m$

2. Находят расчетную длину мачты (см):

$$H_m = \mu H,$$

где  $[\mu]$  - коэффициент приведения расчетной длины, для монтажных мачт  $\mu = 1$ .

3. Определяют гибкость мачты:

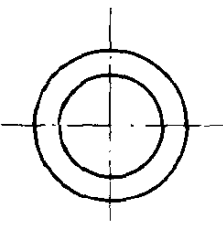
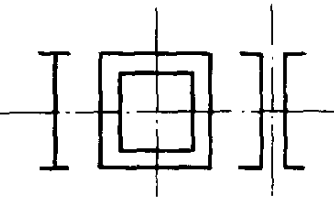
$$\lambda_m = H_m / r_m \leq [\lambda],$$

$[\lambda]$  — предельная гибкость, для трубчатой мачты  $[\lambda] = 180$ .

4. Находят условную гибкость в плоскости действия изгибающего момента:

$$\bar{\lambda}_m = \lambda_m \sqrt{R/E},$$

Таблица 4. Значения коэффициента влияния формы сечения

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

где  $R$  — расчетное сопротивление при сжатии для прокатной стали; для стали класса С38/23  $R = 210$  МПа;  $E$  — модуль упругости; для стали  $E = 2,1 \times 10^5$  МПа =  $2,1 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>.

5. Вычисляют эксцентриситеты:

$$m_o = eF_m/W_m;$$

$$m_{\Pi} = m_o \eta,$$

где  $e$  — эксцентриситет приложения силы в см:  $e = Ml' / N$ ;  $M$  — максимальный изгибающий момент;  $\eta$  — коэффициент влияния формы сечения (принимается по табл. 4).

6. В зависимости от условий гибкости  $\bar{\lambda}$  и приведенного эксцентриситета  $m_{\Pi}$  принимают коэффициент внецентренного продольного изгиба  $\phi^{BH}$ .

7. Проверяют устойчивость мачты в плоскости действия изгибающего момента:

$$N/(F_m \varphi^{0.9}) \leq mR,$$

где  $m$  — коэффициент условий работы, для монтажных мачт  $m = 0,9$ .

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

Пример 15. Рассчитать высоту и сечение вертикальной трубчатой мачты для подъема цилиндрического вертикального аппарата массой  $G_0 = 34$  т и высотой  $h_0 = 10$  м на постамент высотой  $H_\phi = 4$  м. Подъем осуществляется одним полиспастом, подвешенным на консоли длиной  $e = 200$  мм у оголовка мачты (рис. 12, б).

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  $h_{п} = 3,3$  м для 40-тонного полиспаста:

$$H = h_\phi + h_3 + h_0 + h_c + h_{п} + h_{ог} = 4 + 0,5 + 10 + 1,5 + 3,3 + 0,5 = 19,8 \text{ м.}$$

Принимаем высоту мачты  $H = 20$  м.

2. Рассчитываем полиспаст:

находим нагрузку на верхний неподвижный блок полиспаста, учитывая, что нагрузка на подвижный блок  $P_{п} = 10G_0 = 10 \cdot 34 = 340$  кН,

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

выбираем для полиспаста два блока грузоподъемностью 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 усилие в сбегавшей ветви полиспаста

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



б) находим разрывное усилие в сбегавшей ветви полиспаста, определив коэффициент запаса прочности  $\kappa_3 = 5$ ,

$$R_{\kappa} = S_{\pi} \kappa_3 = 42,5 \cdot 5 = 213 \text{ кН};$$

выбираем для оснастки полиспаста стальной канат типа ЛК-РО конструкции 6×36 (1 + 7 + 7/7 + 14) + 1 о. с. (ГОСТ 7668—70) 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 сбегавшей ветви  $l_1 = 35$  м,

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

г) находим суммарную массу полиспаста

$$G_{\pi} = G_{\sigma} + G_{\kappa} = G_{\sigma} + L g_{\kappa} / 1000 = 1340 + 258 \cdot 1520 / 1000 = \\ = 1732 \text{ кг} = 1,7 \text{ т.}$$

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

$$N = 10G_{\sigma} \kappa_{\pi} \kappa_{\kappa} + 10G_{\pi} \kappa_{\pi} + 10G_{\kappa} \kappa_{\pi} + S_{\pi} + S_{\text{н. в}} + S_{\text{р. в}} = \\ = 10 \cdot 34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 10 \cdot 2,6 \cdot 1,1 + 42,5 + 21,2 + \\ + 15,3 = 538 \text{ кН},$$

где  $G_{\kappa} = g^T H = 132,19 \cdot 20 = 2644 \text{ кг} = 2,6 \text{ т}$  (здесь  $g^T$  — масса 1 м стальной трубы для сечения трубы 351/16 мм);  $S_{\text{н. в.}} = n P_{\text{н. в}} \sin \alpha$ ;  $S_{\text{р. в.}} = n P_{\text{р. в}} \sin \alpha$ :

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

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

$$P_{\text{р. в.}} = \frac{Pe}{a} + P_{\text{н. в.}} = \frac{(10G_{\sigma} \kappa_{\pi} \kappa_{\kappa} + 10G_{\pi} \kappa_{\pi} + S_{\pi}) e}{H \cos \alpha} + P_{\text{н. в.}} = \\ = \frac{(10 \cdot 34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 42,5) 0,2}{20 \cdot 0,707} + 15 = 21,7 \text{ кН.}$$

4. Находим изгибающие моменты, действующие на мачту:

вместе крепления полиспаста

$$\begin{aligned} M_o &= (10G_o\kappa_{\Pi}\kappa_d + 10G_{\Pi}\kappa_{\Pi} + S_{\Pi})e = \\ &= (10 \cdot 34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 42,5) 20 = 9450 \text{ кН}\cdot\text{см}; \end{aligned}$$

в среднем сечении мачты на высоте  $2/3$  от ее основания

$$\begin{aligned} M_{cp} &= 2(10G_o\kappa_{\Pi}\kappa_d + 10G_{\Pi}\kappa_{\Pi} + S_{\Pi})e/3 = \\ &= 2(10 \cdot 34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 10 \cdot 1,7 \cdot 1,1 + 42,5) 20/3 = 6300 \text{ кН}\cdot\text{см}. \end{aligned}$$

5. 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 радиус инерции  $r^T = r_M = 11,9 \text{ см}$ .

6. Находим расчетную длину мачты:

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

7. Определяем гибкость мачты:

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

8. Находим условную гибкость мачты:

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

9. Вычисляем эксцентриситеты:

относительный  $m_o = eF_M/W_M = 17,6 \cdot 168/1349 = 2,2$  (здесь  $e = M_o/N = 9450/538 = 17,6$ );

приведенный  $m_{\Pi} = m_o \eta = 2,2 \cdot 1 = 2,2$ .

10. Находим коэффициент продольного изгиба  $\varphi^{BH} = 0,180$ .

11. Проверяем мачту на устойчивость

$$\begin{aligned} N/(F_M \varphi^{BH}) &\ll mR; \\ 538/(168 \cdot 0,180) &= 17,8 \text{ кН/см}^2 = \\ &= 178 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 210 = 189 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Соблюдение данного неравенства свидетельствует об устойчивости расчетного сечения мачты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мандриков А.П., Лялин И.Т. Примеры расчета металлических конструкций. М.: Стройиздат, 1982.
2. Молоканов Ю.К., Харас З.Б. Монтаж аппаратов и оборудования для нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 1982.
3. Оборудование и приспособления для монтажа строительных конструкций: Отраслевой каталог. М.ЦБНТИ, 1985.
4. Матвеев В.В., Крупин Н.Ф. Примеры расчета такелажной оснастки. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1987.
5. Технология монтажа оборудования химических предприятий и заводов строительных материалов. Рябчук Г.В., Дахин О.Х., Ремнев В.П., Рева Л.С., Лепехин Г.И., Лапицкий В.И., Невежин В.И. Волгоград. гос. техн. ун-т, Волгоград, 1995.
6. Ермаков В.И., Шеин В.С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложения 1

### Канаты стальные (выдержки из ГОСТов)

Диаметр каната, мм	Масса 1000 м каната, кг	Маркировочная группа, Мпа				
		1372	1568	1666	1764	1960
Разрывное усилие, кН						
Канат типа ЛК-РО конструкции 6×36(1+7+7\7+14)+1о.с. (ГОСТ 7668-80)						
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	144,0	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
46,5	8400	956,5	1090,5	1160,0	1180,0	1280,0
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	-
Канат типа ЛК-Р конструкции 6×19(1+6+6\6)+1о.с. (ГОСТ 2688-80)						
11,0	462	-	62,9	66,8	68,8	75,2
12,0	527	-	71,8	76,2	78,6	85,8
13,0	596	71,1	81,3	86,3	89,0	97,0
14,0	728	86,7	99,0	105,0	108,0	118,0
15,0	844	100,0	114,5	122,0	125,5	137,0
16,5	1025	121,5	139,0	147,5	152,0	166,0
18,0	1220	145,0	166,0	176,0	181,0	198,0
19,5	1405	167,0	191,0	203,0	209,0	228,0
21,0	1635	194,5	222,0	236,0	243,5	265,5
22,5	1850	220,0	251,0	267,0	275,0	303,5
24,0	2110	250,5	287,0	304,5	314,0	343,0
25,5	2390	284,0	324,5	345,0	355,5	388,5
27,0	2685	319,0	365,0	388,0	399,5	436,5

Продолжения прилож.1

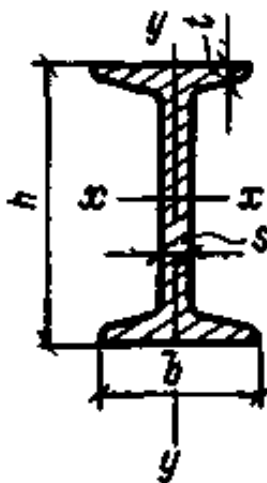
Диаметр каната, мм	Масса 1000 м каната, кг	Маркировочная группа, Мпа				
		1372	1568	1666	1764	1960
		Разрывное усилие, кН				
28,0	21910	346,5	396,0	421,0	434,0	473,5
30,5	3490	415,5	475,0	504,5	520,0	567,5
32,0	3845	458,0	523,5	556,0	573,0	625,5
33,5	4220	502,5	574,0	610,5	629,0	686,0
37,0	5015	597,5	683,0	725,0	748,0	816,0
39,5	5740	684,0	781,5	828,0	856,0	938,0
42,0	6535	779,0	890,0	945,0	975,0	1060,0
44,5	7385	880,5	1000,0	1035,0	1075,0	-
47,5	8430	1000,0	1145,0	1185,0	1230,0	-
51,0	9545	1135,0	1295,0	1340,0	1395,0	-
56,0	11650	1385,0	1580,0	1635,0	1705,0	-
Канат типа ТЛК-О конструкции 6×37 (1+6+15+15)+1о.с. (ГОСТ 3079-80)						
11,5	468,0	-	62,6	66,5	68,8	74,6
13,5	662,5	-	88,7	94,2	97,1	105,5
15,5	851,5	-	113,5	121,0	124,0	136,0
17,0	1065,0	-	142,0	151,0	155,5	170,0
19,5	1350,0	157,5	180,0	191,05	197,0	215,5
21,5	1670,0	195,0	222,5	237,0	244,5	266,5
23,0	1930,0	225,0	258,0	274,0	283,0	307,0
25,0	2245,0	262,5	300,0	318,5	328,5	358,5
27,0	2650,0	310,0	354,5	376,5	388,5	423,5
29,0	3015,0	353,0	403,5	428,5	441,5	482,0
30,5	3405,0	398,5	455,5	484,0	499,0	544,5
33,0	3905,0	457,0	522,0	555,0	571,5	624,0
35,0	4435,0	519,0	590,0	630,5	650,0	709,0
39,0	5395,0	632,0	722,0	767,0	791,0	863,0
43,0	6675,0	781,5	893,0	949,0	980,0	1065,0
47,0	7845,0	918,5	1045,0	1110,0	1145,0	1250,0
50,0	9110,0	1060,0	1215,0	1290,0	1330,0	1455,0
52,0	9910,0	1155,0	1320,0	1405,0	1455,0	1575,0
54,0	10600,0	1235,0	1415,0	1500,0	1550,0	1695,0
56,0	11450,0	1335,0	1525,0	1620,0	1675,0	1830,0
58,0	12050,0	1510,0	1610,0	1715,0	1765,0	1925,0
62,0	13950,0	1630,0	1860,0	1930,0	2000,0	-
66,5	16450,0	1925,0	2195,0	2275,0	2360,0	-
71,0	19200,0	2245,0	2565,0	2665,0	2750,0	-
75,0	21150,0	2470,0	2830,0	2940,0	3030,0	-
Канат типа ЛК-О конструкции 6×19 (1+9+9)+1о.с. (ГОСТ 3077-80)						
10,5	387,5	-	53,7	55,9	57,7	62,9
11,5	487,0	-	66,2	70,3	72,5	79,1
12,0	530,0	-	72,0	76,5	78,9	86,1
13,0	597,3	-	81,1	86,2	88,7	96,8
14,0	719,0	-	97,8	103,5	106,5	116,5
15,0	852,5	-	115,5	122,5	126,5	138,0
16,5	996,5	118,0	135,0	143,5	147,5	161,5

Продолжение прилож. 1

Диаметр каната, мм	Масса 1000 м каната, кг	Маркировочная группа, Мпа				
		1372	1568	1666	1764	1960
		Разрывное усилие, кН				
17,5	1155,0	136,5	156,0	166,0	171,5	187,0
19,5	1370,0	162,5	183,0	197,0	203,5	221,5
20,5	1550,0	184,0	210,5	223,5	230,5	251,5
22,0	1745,0	207,0	236,5	251,0	259,0	283,0
23,0	1950,0	231,0	264,5	281,0	289,5	316,0
25,5	2390,0	284,0	324,5	344,5	355,5	388,0
28,0	2880,0	342,0	391,0	415,5	428,0	466,5
30,5	3410,0	405,0	463,5	492,0	507,5	535,5
32,5	3990,0	474,0	541,5	575,5	593,0	647,0
35,0	4610,0	548,0	626,5	665,5	686,0	748,5
37,0	5035,0	598,5	684,0	726,5	749,0	815,0
39,0	5475,0	651,0	744,0	790,5	815,0	886,5
40,0	5830,0	693,5	792,5	841,0	863,0	-
41,0	6200,0	737,5	843,0	872,0	906,5	-
43,5	6975,0	829,5	948,0	980,0	1015,0	-
45,0	7370,0	877,0	999,5	1030,0	1075,0	-
46,0	7790,0	926,5	1055,0	1090,0	1135,0	-

Приложение 2

Балки двутавровые (выдержка из ГОСТ 8239—72)



Номер Балки	Размеры, мм			Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1м g <sup>д</sup> ,кг	Справочные величины для осей					
	h	b	S			x-x			y-y		
						I <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см	I <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> <sup>д</sup> , 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

Продолжение прилож. 2

Номер балки	Размеры, мм			Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1м g <sup>д</sup> кг	Справочные величины для осей					
	h	b	S			x-x			y-y		
						I <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см	I <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см
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	115	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	10,1	260,0	41,60	2,63
27	270	125	6,0	40,2	31,50	5010	371,0	11,2	260,0	41,50	2,54
27a	270	135	6,0	43,2	33,90	5500	407,0	11,3	337,0	50,00	2,80
30	300	135	6,5	46,5	36,50	7080	472,0	12,3	337,0	49,90	2,69
30a	300	145	6,5	49,9	39,20	7780	518,0	12,5	436,0	60,10	2,95
33	330	140	7,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,5	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	61,9	48,60	13380	743,0	14,7	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	72,6	57,00	19062	953,0	16,2	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,1	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	100	78,50	39727	1589,0	19,9	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	118	92,60	55962	2035,0	21,8	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	138	108,0	76806	2560,0	23,6	1725,0	182,00	3,54

Балки двутавровые с параллельными гранями полок

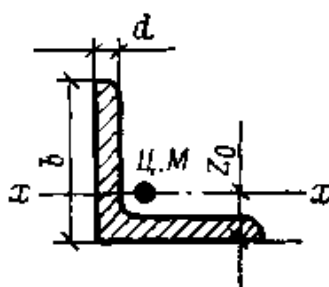
Номер Балки	Размеры, мм			Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1м g <sup>д</sup> кг	Справочные величины для осей					
	h	b	S			x-x			y-y		
						I <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см	I <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см
Балки двутавровые (выдержка из ГОСТ 19425-74)											
24М	240	110	8,2	48,7	38,3	4640	387	9,8	276	50,2	2,4
30М	300	130	9,0	64,0	50,2	9500	633	12,2	480	73,9	2,7
36М	360	130	9,5	73,8	57,9	15340	852	14,4	518	79,7	2,7
45М	450	150	10,5	98,8	77,6	31900	1420	18,0	892	119,0	3,0
Балки двутавровые (выдержка из ТУ 14-2-24-72)											

Продолжение прилож.2

Номер Балки	Размеры, мм			Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1м, г <sup>д</sup> , кг	Справочные величины для осей					
	h	b	S			x-x			y-y		
						I <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> <sup>д</sup> , см	I <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> <sup>д</sup> , см
20Б2	200	100	5,2	27,7	21,8	1920	192	8,3	144	28,8	2,3
23Б2	230	110	5,4	32,5	25,5	2980	259	9,6	200	36,4	2,5
26Б2	260	120	5,6	38,2	30,0	4500	346	10,9	280	46,7	2,7
30Б2	300	140	5,8	44,9	35,2	7070	471	12,5	445	63,5	3,2
35Б2	350	155	6,0	54,0	42,4	11600	663	14,7	653	84,2	3,5
40Б2	400	165	6,8	67,0	52,6	18560	928	16,6	893	108,0	3,7
45Б2	450	180	7,6	82,8	65,0	28840	1280	18,7	1300	144,0	3,8
50Б2	500	200	8,4	101,0	79,0	43120	1720	20,7	1920	192,0	4,4
55Б2	550	215	9,2	120,0	94,4	62220	2260	22,7	2670	249,0	4,7
60Б2	600	230	10,0	145,0	114,0	89320	2980	24,8	3720	323,0	5,1

Приложение 3

Сталь прокатная угловая равнополочная (выдержка из ГОСТ 8509—72)



№ профилей	Размеры, мм		Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1м, г <sup>вр</sup> , кг	I <sup>вр</sup> , см <sup>4</sup>	r <sup>вр</sup> , см	z <sub>0</sub> , см
	B	D					
4	40	3	2.35	1.85	3.55	1.23	1.09
		4	3.08	2.42	4.58	1.22	1.13
		5	3.79	2.98	5.53	1.21	1.17
4.5	45	3	2.65	2.08	5.13	1.39	1.21
		4	3.48	2.73	6.63	1.38	1.26
		5	4.29	3.37	8.03	1.37	1.30
5	50	3	2.96	2.32	7.11	1.55	1.33
		4	3.89	3.05	9.21	1.54	1.38
		5	4.80	3.77	11.20	1.53	1.42
5.6	56	4	4.38	3.44	13.10	1.73	1.52
		5	5.41	4.25	15.97	1.72	1.57
6.3	63	4	4.96	3.90	18.86	1.95	1.69
		5	6.13	4.81	23.10	1.94	1.74
		6	7.28	5.72	27.06	1.93	1.78
7	70	4.5	6.20	4.87	29.04	2.16	1.88
		5	6.86	5.38	31.94	2.16	1.90
		6	8.15	6.39	37.58	2.15	1.94
		7	9.42	7.39	42.98	2.14	1.99
		8	10.67	8.37	48.16	2.12	2.02



Продолжение прилож. 3

№ профилей	Размеры, мм		Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1м, g <sup>yr</sup> кг	I <sup>yp</sup> , см <sup>4</sup>	r <sup>yr</sup> , см	z <sub>0</sub> , см
	B	D					
7.5	75	5	7.39	5.80	39.53	2.31	2.02
		6	8.78	6.86	46.57	2.30	2.06
		7	10.15	7.96	53.34	2.29	2.10
		8	11.50	9.02	59.84	2.28	2.15
		9	12.83	10.07	66.10	2.27	2.18
8	80	5.5	8.63	6.78	52.68	2.47	2.17
		6	9.38	7.36	56.97	2.47	2.19
		7	10.85	8.51	65.31	2.45	2.23
		8	12.30	9.65	73.36	2.44	2.27
9	90	6	10.61	8.33	82.10	2.78	2.43
		7	12.28	9.64	94.30	2.77	2.47
		8	13.93	10.93	106.11	2.76	2.61
		9	15.60	12.20	118.00	2.75	2.55
10	100	6.5	12.82	10.06	122.10	3.09	2.68
		7	13.75	10.79	130.59	3.08	2.71
		8	15.60	12.25	147.19	3.07	2.75
		10	19.24	15.10	178.95	3.05	2.83
		12	22.80	17.90	208.90	3.03	2.91
		14	26.28	20.63	237.15	3.00	2.99
		16	29.68	23.30	263.82	2.98	3.06
11	110	7	15.15	11.89	175.61	3.40	2.96
		8	17.20	13.50	198.17	3.39	3.00
12.5	125	8	19.69	15.46	294.36	3.87	3.36
		9	22.00	17.30	327.48	3.86	3.40
		10	24.33	19.10	359.82	3.85	3.45
		12	28.89	22.68	422.23	3.82	3.53
		14	33.37	26.20	481.76	3.80	3.61
		16	37.77	29.65	530.56	3.78	3.68
14	140	9	24.72	19.41	465.72	4.34	3.78
		10	27.33	21.45	512.29	4.33	3.82
		12	32.49	25.50	602.49	4.31	3.90
16	160	10	31.43	24.67	774.24	4.96	4.30
		11	34.42	27.02	844.21	4.95	4.35
		12	37.39	29.35	912.89	4.94	4.39
		14	43.57	33.97	1046.47	4.92	4.47
		16	49.07	38.52	1175.47	4.89	4.55
		18	54.79	43.01	1290.24	4.87	4.63
		20	60.40	47.44	1418.85	4.85	4.70
18	180	11	38.80	30.47	1216.44	5.60	4.85
		12	42.19	33.12	1316.62	5.59	4.89

Продолжение прилож. 3

№ профилей	Размеры, мм		Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1м, g <sup>гТ</sup> кг	I <sup>гТ</sup> , см <sup>4</sup>	r <sup>гТ</sup> , см	z <sub>0</sub> , см
	b	D					
20	200	12	47.10	36.97	1822.78	6.22	5.37
		13	50.85	39.92	1960.77	6.21	5.42
		14	54.60	42.80	2097.00	6.20	5.46
		16	61.98	48.65	2362.57	6.17	5.54
		20	76.54	60.08	2871.47	6.12	5.70
		25	94.29	74.02	34.66.21	6.06	5.89
		30	111.54	87.56	4019.60	6.00	6.07
22	220	14	60.38	47.40	2814.36	6.83	5.91
		16	68.58	53.83	3175.44	6.80	6.02
25	250	16	78.40	61.55	4717.10	7.76	6.75
		18	87.72	68.86	5247.24	7.73	6.83
		20	96.96	76.11	5764.87	7.71	6.91
		22	106.12	83.31	6270.32	7.69	7.00
		25	119.71	93.97	7006.39	7.65	7.11
		28	133.12	104.50	7716.86	7.61	7.23
		30	141.96	111.44	8176.82	7.59	7.31

Приложение 4

Основные расчетные данные стальных бесшовных горячедеформированных труб (по ГОСТ 8732-78)

Диаметр, мм		Толщина стенки δ, мм	Площадь сечения F <sup>гТ</sup> , см <sup>2</sup>	Момент инерции I <sup>гТ</sup> , см <sup>4</sup>	Момент сопротивления W <sup>гТ</sup> , см <sup>3</sup>	Радиус инерции r <sup>гТ</sup> , см	Масса 1м g <sup>гТ</sup> , кг
наружный	внутренний						
102	94	4	12.3	148	29.0	3.47	9.67
	90	6	18.1	209	41.0	3.40	14.21
	86	8	23.6	263	51.6	3.34	18.55
	82	10	28.9	309	60.6	3.27	22.69
	78	12	33.9	350	68.6	3.21	26.63
	74	14	38.7	384	75.3	3.15	30.38
	70	16	43.2	413	81.0	3.09	33.93
108	100	4	13.1	177	32.8	3.68	10.26
	96	6	19.2	251	46.5	3.62	15.09
	92	8	25.1	316	58.4	3.55	19.73
	88	10	30.8	373	69.1	3.48	24.17
	84	12	36.2	423	78.3	3.42	28.41
	80	14	41.3	467	86.5	3.36	32.45
	76	16	46.2	504	93.4	3.30	36.30

Продолжение прилож. 4

Диаметр, мм		Толщина стенки $\delta$ , мм	Площадь сечения $F^T$ , см <sup>2</sup>	Момент инерци и $\Gamma^T$ , см <sup>4</sup>	Момент сопроти вления $W^T$ , см <sup>3</sup>	Радиус инерции $r^T$ см	Масса 1м $g^T$ , кг
наружный	внутрен ний						
114	106	4	13.8	209	36.7	3.89	10.85
	102	6	20.4	298	52.3	3.83	15.98
	98	8	26.6	376	66.0	3.76	20.91
	94	10	32.4	446	78.2	3.70	25.65
	90	12	38.4	507	88.9	3.63	30.19
	86	14	44.0	561	98.5	3.57	34.53
	82	16	49.2	607	106.0	3.51	38.67
121	113	4	14.7	252	41.6	4.14	11.54
	109	6	21.7	359	59.4	4.07	17.02
	105	8	28.4	456	75.3	4.00	22.29
	101	10	34.9	541	89.5	3.94	27.37
	97	12	41.1	618	102.0	3.88	32.26
	93	14	47.1	685	113.0	3.81	36.94
	89	16	52.8	744	123.0	3.76	41.43
	85	18	58.3	796	132.0	3.70	45.72
127	119	4	15.5	293	46.1	4.35	12.13
	115	6	22.8	418	65.9	4.28	17.90
	111	8	29.9	532	83.8	4.22	23.48
	107	10	36.8	633	99.8	4.15	28.85
	103	12	43.4	724	114.0	4.09	34.03
	99	14	49.7	806	127.0	4.02	39.01
	95	16	55.8	877	138.0	3.96	43.80
133	125	4	16.2	337	50.8	4.57	12.73
	121	6	23.9	484	72.7	4.49	18.79
	117	8	31.4	616	94.3	4.43	24.66
	113	10	38.6	736	111.0	4.36	30.33
	109	12	45.6	843	127.0	4.30	35.81
	105	14	52.3	939	141.0	4.24	41.09
	101	16	58.8	1025	154.0	4.18	46.17
140	128	6	25,3	568	81,1	4,74	19,83
	124	8	33,8	725	104,0	4,68	26,04
	120	10	40,8	868	124,0	4,61	32,06
	116	12	48,3	997	142,0	4,55	37,88
	112	14	55,4	1114	159,0	4,49	43,5
	108	16	62,3	1218	174,0	4,42	48,93
	104	18	69,0	1312	187,0	4,36	54,16
	100	20	75,4	1395	199,0	4,3	59,19

Продолжение прилож. 4

Диаметр, мм		Толщина а стенки $\delta$ , мм	Площадь сечения $F^r$ , см <sup>2</sup>	Момент инерции и $I^r$ , см <sup>4</sup>	Момент сопроти вления $W^r$ , см <sup>3</sup>	Радиус инерции $r^r$ см	Масса 1 м $g^r$ , кг
наружный	внутрен ний						
146	134	6	26,4	648	88,8	4,95	20,72
	130	8	34,7	829	114,0	4,89	27,23
	126	10	42,7	993	136,0	4,82	33,54
	122	12	50,5	1143	157,0	4,76	39,66
	118	14	58,0	1279	175,0	4,70	45,57
	114	16	65,3	1402	192,0	4,64	51,30
	110	18	72,4	1512	207,0	4,57	56,98
	106	20	79,2	1611	221,0	4,51	62,14
152	140	6	27,5	734	96,6	5,17	21,60
	136	8	36,2	941	124,0	5,10	28,41
	132	10	44,6	1130	149,0	5,03	35,02
	128	12	52,8	1303	171,0	4,97	41,43
	124	14	60,7	1460	192,0	4,90	47,65
	120	16	68,4	1608	212,0	4,85	53,66
	116	18	75,8	1732	228,0	4,78	59,48
	112	20	82,9	1849	243,0	4,72	65,11
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	1034	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	234	5,09	56,43
	123	18	79,7	2014	253	5,03	62,59
	119	20	87,3	2153	270	4,97	68,56
168	156	6	30,5	1003	119	5,74	23,97
	152	8	40,2	1290	153	5,66	31,57
	148	10	49,6	1555	185	5,60	38,97
	144	12	58,8	1800	214	5,53	46,17
	140	14	67,7	2025	241	5,47	53,17
	136	16	76,4	2222	265	5,40	59,98
	132	18	84,8	2421	288	5,34	66,59
	128	20	93,0	2593	308	5,28	73,00
180	168	6	32,8	1243	138	6,15	35,75
	164	8	43,2	1602	178	6,09	33,93
	160	10	53,4	1936	215	6,03	41,92
	156	12	63,3	2246	250	5,96	49,72
	152	14	73,0	2533	281	5,89	57,31
	148	16	82,4	2797	310	5,83	64,71
	144	18	91,6	3043	338	5,76	71,91
	140	20	101,0	3268	363	5,69	78,92

Продолжение прилож. 4

Диаметр, мм		Толщина стенки $\delta$ , мм	Площадь сечения $F^r$ , см <sup>2</sup>	Момент инерции и $I^r$ , см <sup>4</sup>	Момент сопроти вления $W^r$ , см <sup>3</sup>	Радиус инерции $r^r$ см	Масса 1 м $g^r$ , кг
наружный	внутрен ний						
194	182	6	35,4	1568	162	6,65	27,82
	178	8	46,7	2026	209	6,59	36,70
	174	10	57,8	2454	253	6,51	45,38
	170	12	68,6	2864	295	6,46	53,86
	166	14	79,2	3226	332	6,38	62,15
	162	16	89,5	3573	268	6,32	70,24
	158	18	99,5	3895	401	6,26	78,13
	154	20	109,0	4193	431	6,20	85,28
203	191	6	36,9	1800	181	6,97	29,15
	187	8	48,7	2329	234	6,90	38,47
	183	10	60,5	2836	284	6,83	47,60
	179	12	72,2	3291	331	6,76	56,52
	175	14	83,2	3725	375	6,69	65,25
	171	16	94,2	4131	415	6,62	73,79
	167	18	104,4	4510	453	6,55	82,12
	163	20	114,6	4862	489	6,48	90,26
219	207	6	40,1	2279	208	7,53	31,52
	203	8	53,0	2956	270	7,47	41,63
	199	10	65,6	3594	328	7,40	51,54
	195	12	78,0	4195	383	7,33	61,26
	191	14	90,2	4760	435	7,27	70,78
	187	16	102,0	5290	483	7,20	80,10
	183	18	114,0	5788	529	7,13	89,23
	179	20	125,0	6253	571	7,07	98,15
245	229	8	59,6	4188	342	8,38	46,76
	225	10	73,8	5107	417	8,32	57,95
	221	12	87,8	5978	488	8,25	68,95
	217	14	102,0	6803	555	8,19	79,76
	213	16	115,0	7584	619	8,12	90,36
	209	18	128,0	8322	680	8,06	100,77
	205	20	141,0	6019	737	7,99	110,98
	273	257	8	66,6	5853	429	9,37
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	101,41
237		18	144,0	11780	863	9,04	113,20
233		20	159,0	12800	938	8,97	124,79
299		283	8	73,1	7747	518	10,30
	279	10	90,8	9490	635	10,20	71,27
	275	12	108,0	11160	746	10,20	84,93
	271	14	125,0	12760	853	10,10	98,40
	267	16	142,0	14290	956	10,00	111,67
	263	18	159,0	15750	1054	9,96	124,74
	259	20	175,0	17150	1147	9,90	137,61

Продолжение прилож. 4

Диаметр, мм		Толщина стенки $\delta$ , мм	Площадь сечения $F^r$ , см <sup>2</sup>	Момент инерции и $I^r$ , см <sup>4</sup>	Момент сопроти вления $W^r$ , см <sup>3</sup>	Радиус инерции $r^r$ см	Масса 1 м $g^r$ , кг
наружный	внутрен ний						
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
351	335	8	86,2	12680	723	12,1	67,67
	331	10	107,0	15580	888	12,1	84,10
	327	12	128,0	18380	1047	12,0	100,32
	323	14	148,0	21080	1201	11,9	116,35
	319	16	168,0	23680	1349	11,9	132,19
	315	18	188,0	26180	1490	11,8	147,82
	311	20	208,0	28590	1629	11,7	163,26
377	357	10	115,0	19430	1031	13,0	90,51
	353	12	138,0	22940	1217	12,9	108,02
	349	14	160,0	26340	1397	12,8	125,33
	345	16	180,0	33930	1600	12,8	142,44
	341	18	203,0	37800	1970	12,7	159,36
	337	20	225,0	40600	2120	12,6	176,08
402	382	10	123,2	23622	1199	13,80	96,67
	378	12	146,8	27924	1418	13,78	115,42
	374	14	170,3	32091	1629	13,74	133,96
	370	16	193,9	36127	1834	13,66	152,31
	366	18	216,7	40035	2032	13,59	170,46
	362	20	240,2	43816	2224	13,52	188,41
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
450	430	10	138,2	33409	1515	15,6	108,51
	426	12	164,9	39556	1794	15,5	129,62
	422	14	191,5	45532	2065	15,43	150,53
	418	16	218,2	51341	2328	15,36	171,25
	414	18	244,1	56985	2584	15,29	191,77
	410	20	270,0	62468	2833	15,22	212,09
480	460	10	147,6	40717	1731	16,64	115,91
	456	12	176,6	48249	2051	16,57	138,50
	452	14	204,9	55586	2363	16,50	160,89
500	480	10	153,9	46138	1883	17,35	120,84
	476	12	183,7	54700	2232	17,28	144,42
	472	14	213,5	63050	2573	17,20	167,80

Продолжение прилож. 4

Диаметр, мм		Толщина стенки $\delta$ , мм	Площадь сечения $F^r$ , см <sup>2</sup>	Момент инерции и $I^r$ , см <sup>4</sup>	Момент сопроти вления $W^r$ , см <sup>3</sup>	Радиус инерции $r^r$ см	Масса 1 м $g^r$ , кг
наружный	внутрен ний						
530	512	9	139,0	54890	2072	18,5	115,6
	510	10	163,0	55140	2081	18,4	128,2
	506	12	195,0	65420	2469	18,3	154,3
	502	14	227,0	75460	2877	18,2	178,1
560	540	10	172,7	65241	2378	20,89	135,64
	536	12	206,5	77449	3254	20,82	162,17
	532	14	240,2	89388	3758	20,74	188,51
600	580	10	185,3	80532	2738	20,89	145,50
	576	12	221,4	95671	3254	20,82	175,01
	573	14	257,5	110498	3758	20,74	202,32
630	612	9	176,0	84680	2668	21,9	137,8
	610	10	195,0	93640	2973	21,9	152,9
	606	12	233,0	111300	3533	21,8	182,9
	602	14	271,0	128600	4083	21,8	212,7
720	700	10	222,9	140329	3978	25,13	175,10
	696	12	266,9	166991	4733	25,06	209,52
	692	14	310,1	193196	5476	25,00	243,75
820	800	10	254,3	208357	5186	28,67	199,76
	796	12	304,6	248197	6177	28,60	239,12
	792	14	354,0	287442	7154	28,53	278,28

Приложение 5

Технические характеристики монтажных блоков

Тип	Грузоподъем ность, т	Количес тво роликов	Диаметр роликов, мм	Диаметр каната (максим.), 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
-	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	278
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

Продолжение прилож. 5

Тип	Грузоподъемность, т	Количество роликов	Диаметр роликов, мм	Диаметр каната (максим.), мм	Длина полиспаста в стянутом виде, м	Масса блока, кг
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-50	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 блока) 5610 – (подвижного блока)



Электронное учебное издание

Геннадий Михайлович **Бутов**  
Светлана Владимировна **Лапшина**

**Монтаж оборудования химической промышленности**

*Учебное пособие*

*Электронное издание сетевого распространения*

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2018 г. Поз. № 24.

Подписано к использованию 27.09.2018. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 4,5.

Волгоградский государственный технический университет.  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.  
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.