



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА**



**Профессор Ерохин М.Н.
Ассистент Грибкова Е.В.**

Основные характеристики грузоподъемных машин

- Грузоподъемность;
- Скорость перемещений;
- Высота подъема груза;
- Вылет (или пролет) стрелы;
- Масса машины;
- Группы классификации (режима) кранов.

ГРУЗОПОДЪЁМНОСТЬ – масса номинального рабочего груза, на подъём которого рассчитана машина (кг, т).

Значения грузоподъёмности нормированы **ГОСТ 1575** «Краны грузоподъёмные. Ряды основных параметров»



Грибкова Е.В.

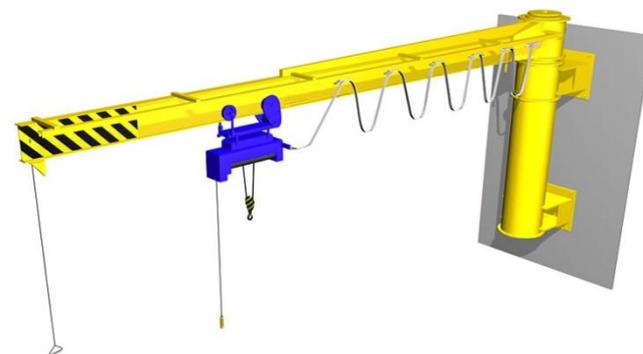
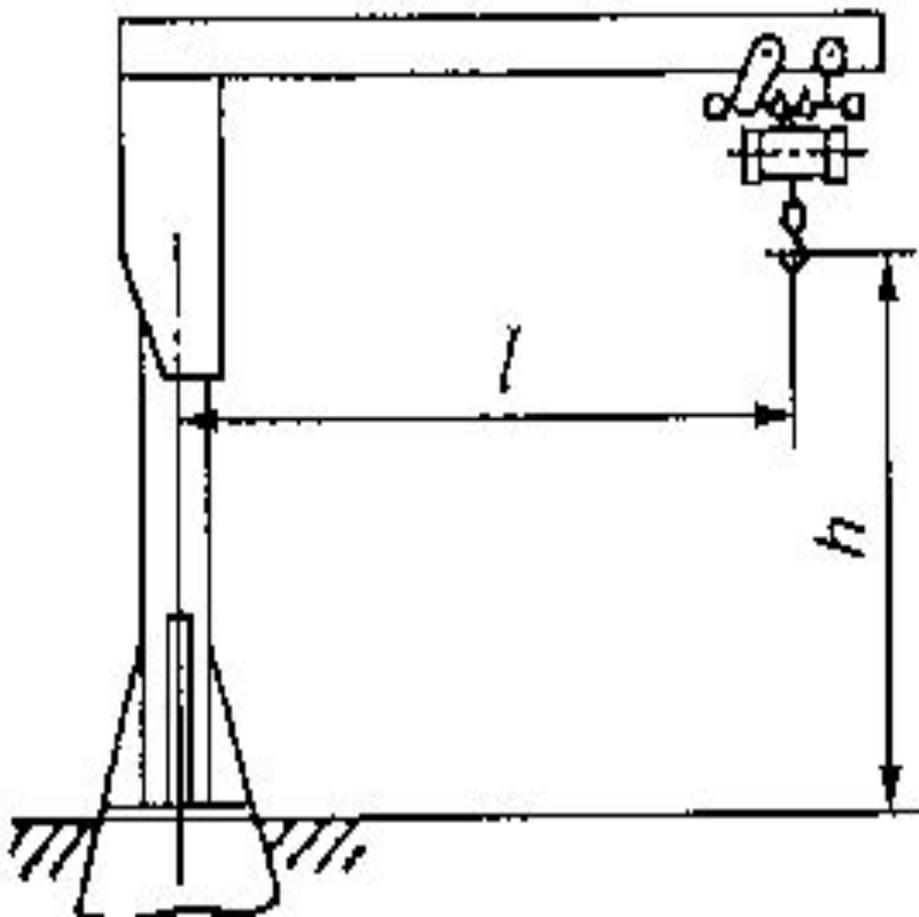
Скорости рабочих движений грузоподъемных механизмов

выбирают из рядов, установленных
ГОСТ 1575 с учётом:

- технологических требований;
- безопасности работы;
- типа машины;
- удобства управления;
- требуемой точности установки
груза;
- пути перемещения.

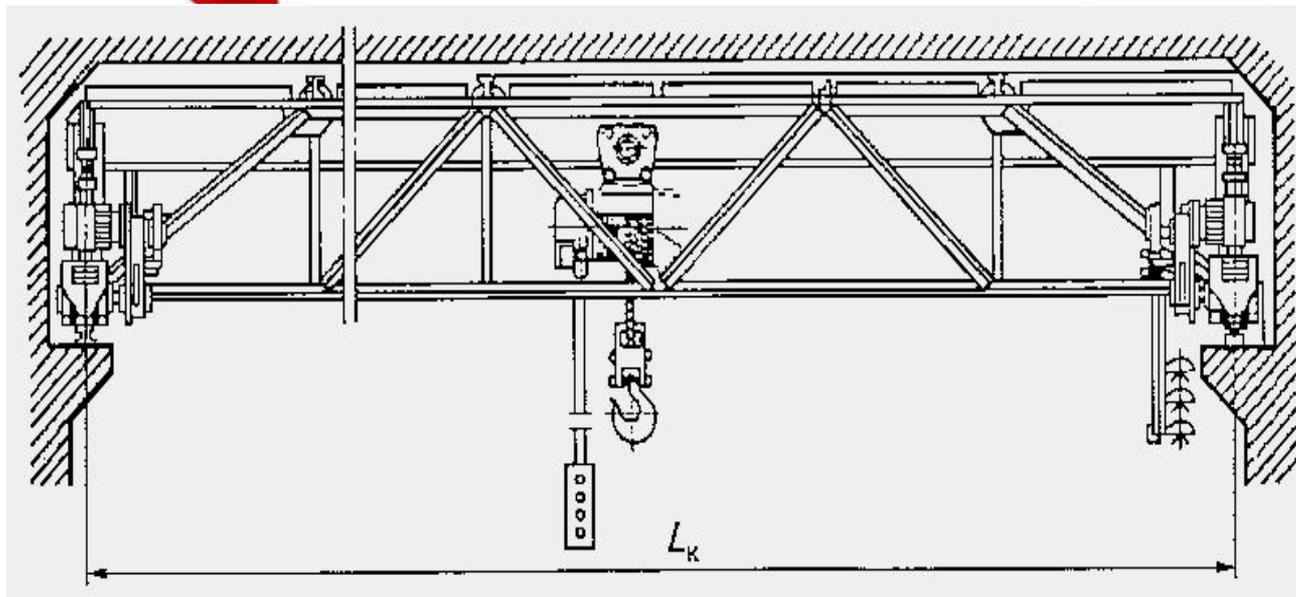
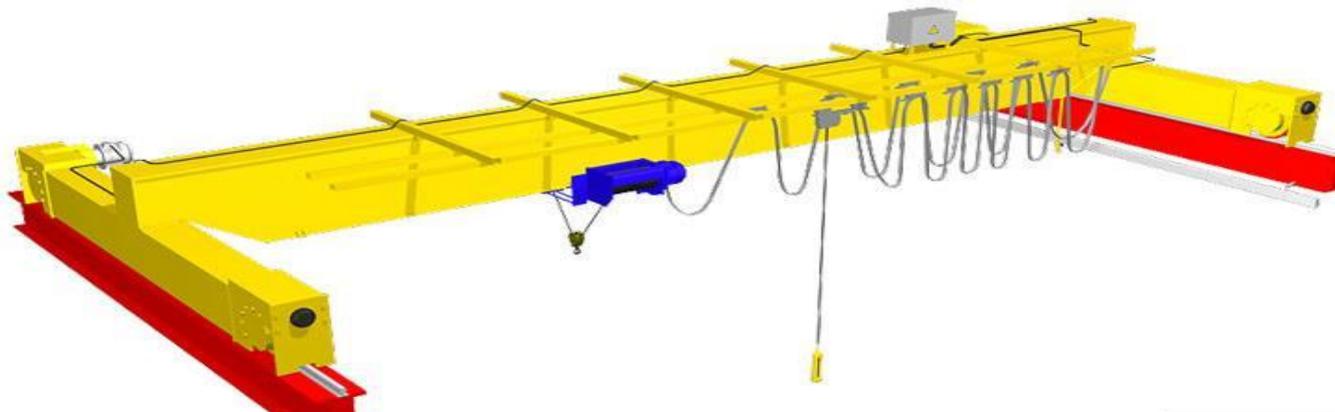


Вылет стрелы (l) – расстояние по горизонтали от оси вращения крана до вертикальной оси грузозахватного органа при установке крана на горизонтальной площадке



Высота подъёма груза (h) принимается от уровня пола для крана без нагрузки до грузозахватного органа, находящегося в верхнем положении.

Пролёт крана (L_k)– горизонтальное расстояние между осями рельсов кранового пути.



**Схема мостового однобалочного крана типа 1,
исполнение А: пролёт 13,5...28,5 м**

Определение группы классификации (режима) кранов и механизмов в целом (ИСО 4301/1).⁷

Группа классификации (режима) кранов в целом определяется классом его использования ($U_0 \dots U_9$) и режимом нагружения ($Q_1 \dots Q_4$).

Класс использования ($U_0 \dots U_9$) характеризуется числом циклов в течение заданного срока службы.

Режим нагружения оценивается коэффициентом распределения нагрузок:

$$K_P = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_i}{C_T} \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m \right],$$

где C_i – среднее число рабочих циклов с частным уровнем массы P_i ;

C_T – суммарно число рабочих циклов со всеми грузами.

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i$$

P_i – значения частных масс отдельных грузов;

P_{\max} – масса наибольшего груза, который разрешается поднимать краном $m = 3$.

Число рабочих циклов (число подъемов)

$$n_{\text{ц}} = \frac{3600 \cdot a}{t_{\text{ц}}} K_c \cdot K_n \cdot K_p \cdot K_{\text{т.пр}},$$

где a – число рабочих часов в смену;

$t_{\text{ц}}$ - расчетное время цикла работы крана, с;

K_c - коэффициент неравномерности использования крана по времени в течение смены ($K_c = 0,5 \dots 0,8$);

K_n - коэффициент простоев по организационным причинам. При отсутствии данных $K_n = 0,9$;

K_p - коэффициент простоев на ремонт и техобслуживание ($K_p = 0,95$);

$K_{\text{т.пр}}$ - коэффициент технологических простоев ($K_{\text{т.пр}} = 0,9$);

Расчетное время цикла

Определяют исходя из фактических затрат времени на перемещение груза и возврат грузоподъемного органа к месту загрузки.

$$t_{\text{ц}} = \frac{1,2(h + h_1)}{V_n} + 1,35 \left(\frac{S_{\text{кр}}}{V_{\text{кр}}} + \frac{S_T}{V_T} \right) + t_p,$$

где h и h_1 – высота подъема и опускания груза в начале и в конце цикла, м;
 V_n и V_T – скорости передвижения крана и тележки, м/с;
 $S_{\text{кр}}$ и S_T – протяженность хода крана и тележки, м;
 t_p – время ручных операций, с;
 1,2 и 1,35 – учитывают снижение скорости соответственно при подъеме и опускании груза в начале и в конце цикла и при разгоне и торможении крана и тележки.

Группы классификации (режима) кранов в целом (ИСО 4301/1)

Режим нагружения	Кoeffи- циент распре- деления нагрузок K_p	Класс использования									
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
		Максимальное число рабочих циклов									
		$1,6 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	Более $4 \cdot 10^6$
Q1 — легкий	0,125			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2 — умерен- ный	0,250		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Q3 — тяжелый	0,500	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Q4 — весьма тяжелый	1,000	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			

Группа классификации (режима) механизмов определяется классом использования механизма (Т0 – Т9) и его режимом нагружения (L1 – L4).

Класс использования механизма (Т0 – Т9) определяется продолжительностью использования механизма (в часах).

Режим нагружения устанавливается коэффициентом распределения нагрузки K_m .



Класс использования механизма отражает интенсивность его использования во время эксплуатации (Т)

$$T = T_0 \cdot Z_{\text{дн}} \cdot h,$$

где T_0 – среднесуточное время работы, ч;

$Z_{\text{дн}}$ – число рабочих дней в году, 250 при двух выходных днях, 300 при одном выходном дне, 360 при непрерывном производстве;

h – срок службы механизма (годы).

Определение коэффициента распределения нагрузки K_m

$$K_m = \sum_{i=1}^n \left[\frac{t_i}{t_T} \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m \right]$$

где t_i – средняя продолжительность использования механизма при частных уровнях нагрузки P_i , с;

t_T – общая продолжительность использования механизма при частных уровнях нагрузок, с:

$$t_T = \sum_{i=1}^n t_i;$$

P_i - значения частных нагрузок, кг;

P_{\max} - значение наибольшей нагрузки, приложенной к механизму, кг;

$m = 3$.

Группы классификации (режима) механизмов в целом

Режим нагружения	Коэффи- циент распре- деления нагрузки K_m	Класс использования									
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
		Общая продолжительность использования, ч									
		200	400	800	1600	3200	6300	12 500	25 000	50 000	100 000
L1 — легкий	0,125			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
L2 — умерен- ный	0,250		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
L3 — тяжелый	0,500	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8		
L4 — весьма тяжелый	1,000	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8			

Типовые крановые

МЕХАНИЗМЫ

- **Механизм подъема** в виде лебедки в комбинации с полиспастом;
- **Механизм передвижения**, который производит перемещение крана или какой-либо его части;
- **Механизм изменения вылета**, изменяющий положение грузового крюка относительно остова;
- **Механизм поворота** (перемещения) поворотной части крана.

Типовые крановые механизмы

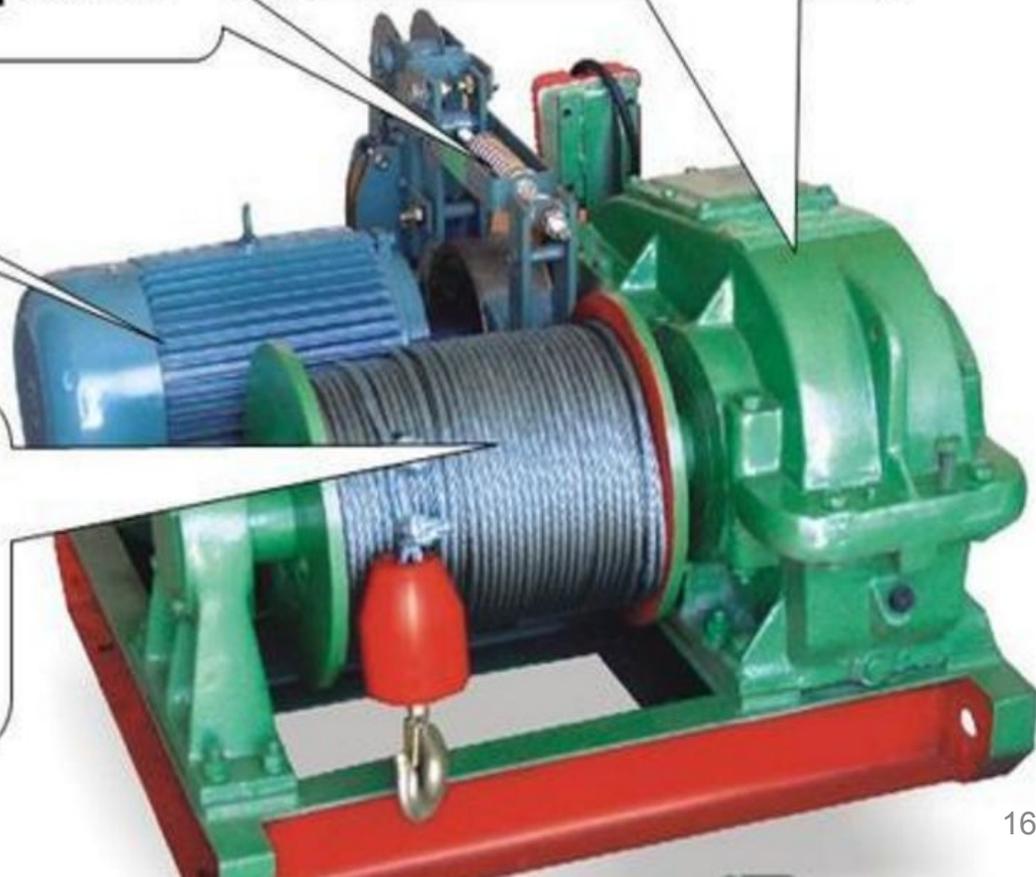
Любой механизм грузоподъемной машины состоит из четырех базовых элементов:

привод

тормоз

передаточный
механизм

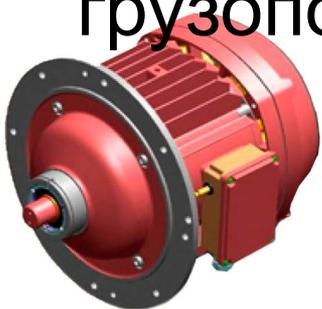
рабочий
(исполнительный)
орган



Типовые крановые механизмы

Привод кранового механизма может быть от двигателя (парового, пневматического, внутреннего сгорания, гидравлического, электрического) или ручной.

Наибольшее распространение имеют электрические двигатели и двигатели внутреннего сгорания, меньше гидравлические двигатели, ручной привод используют редко, лишь в редко применяемых монтажных устройствах малой грузоподъемности или как аварийные.



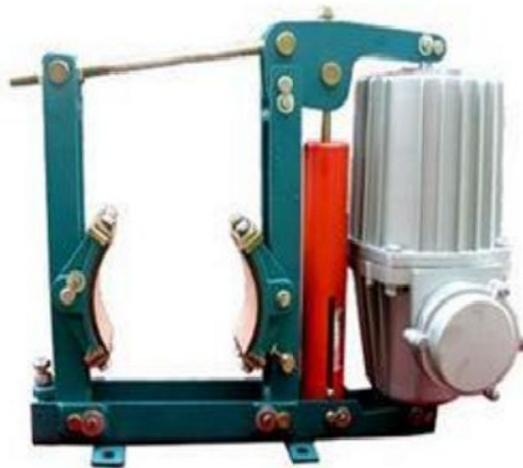
Типовые крановые

МЕХАНИЗМЫ

Тормозные устройства используют как для остановки рабочего органа, так и для регулирования его скорости движения перед остановкой.



тормоз ТКТ



тормоз ТКГ



тормоз ТКП

Типовые крановые механизмы

Рабочий орган механизма – элемент, непосредственно осуществляющий рабочий процесс механизма.

В механизмах подъема рабочим органом является грузозахватное устройство, связанный с ним канатный полиспаст и барабан.

В механизмах передвижения – ходовое колесо или гусеница.

В механизмах вращения – опорно-поворотное устройство (ОПУ), связывающую неповоротную и поворотные части крана.

Рабочий процесс ГПМ

Грузоподъемные машины являются машинами прерывного (циклического) действия.

Цикл рабочего процесса ГПМ характеризуется следующими операциями:

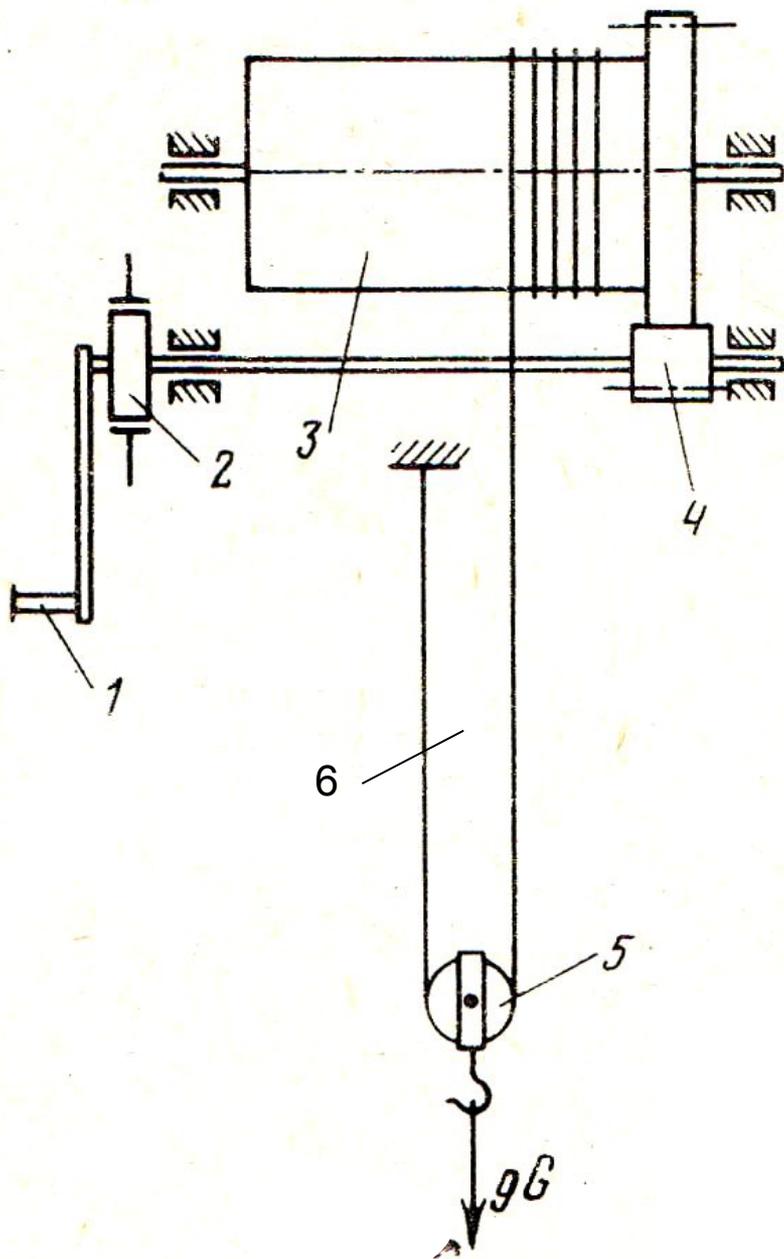
- захват (зачаливание) груза и его подъем;
- передвижение крана (грузовой тележки);
- изменение вылета или перемещение крюка;
- вращение поворотной части крана;
- опускание груза и его отцепка;
- возврат крюка в исходное положение.

МЕХАНИЗМЫ ПОДЪЕМА ГРУЗОВ. УСТРОЙСТВО И РАСЧЕТ

**По характеру привода механизмы
подъема
могут быть разделены на механизмы
с ручным и механическим приводом**

Механизм подъема

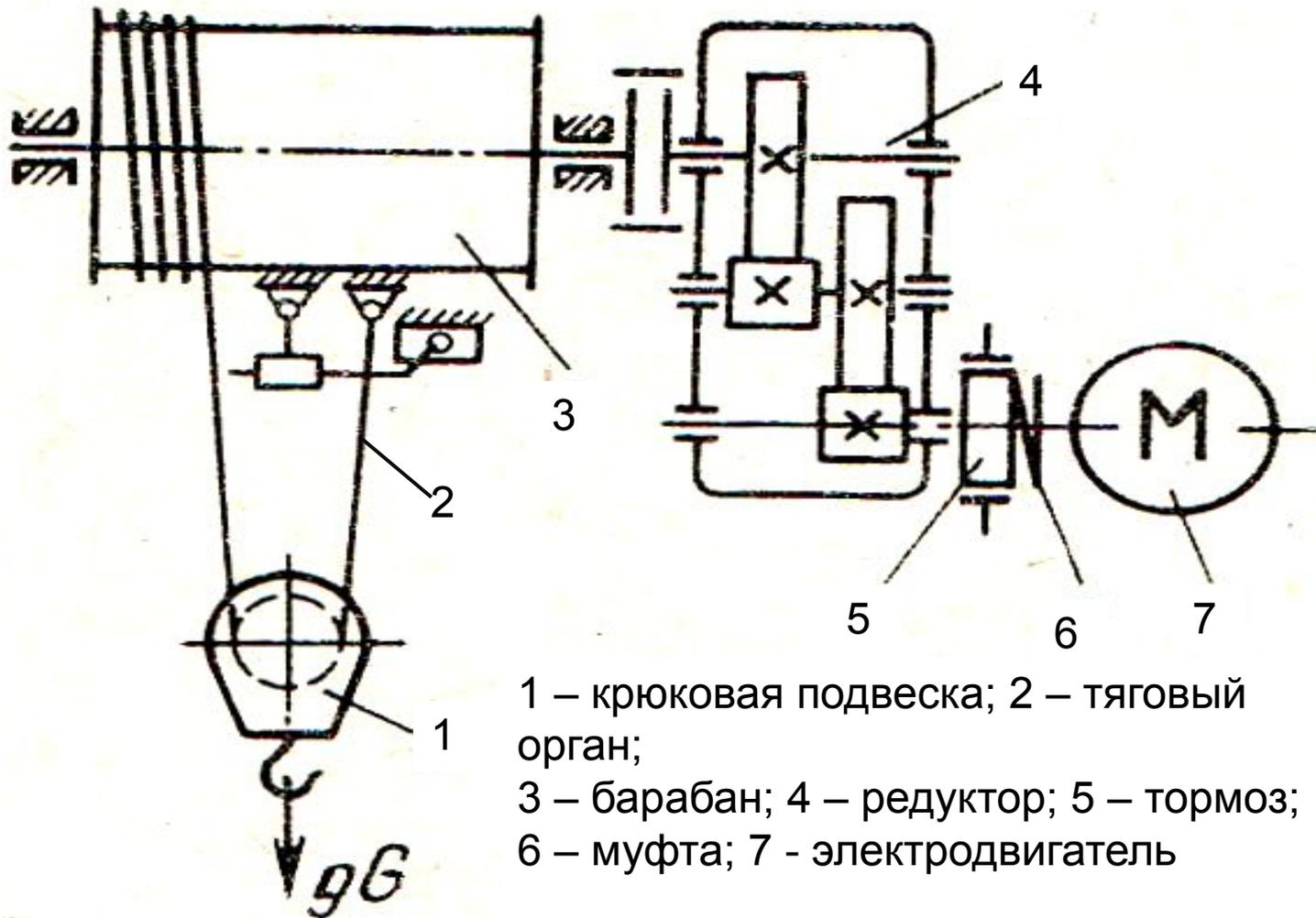
- Грузозахватное устройство;
- Гибкий орган;
- Полиспаст;
- Барабан;
- Передаточный механизм;
- Двигатель;
- Тормозное устройство



Механизм подъема груза с ручным приводом

- 1 – рукоятка;
- 2 – тормоз;
- 3 – барабан;
- 4 – зубчатая передача;
- 5 – крюковая подвеска;
- 6 – тяговый орган

Механизм подъема с электроприводом



Исходные данные для проектирования механизма подъема:

- ❖ грузоподъемность, т;
- ❖ высота подъема груза, м;
- ❖ скорость подъема груза, м/с;
- ❖ класс использования механизма.

Алгоритм расчета механизма подъема

1. Выбирают грузозахватный орган.
2. Выбирают по грузоподъемности тип крюковой подвески и кратность полиспаста.
3. Определяют усилие в ветви каната, набегающей на барабан.
4. Определяют для каната величину разрушающей нагрузки и подбирают канат.
5. Определяют размеры барабана и блоков.
6. Определяют потребную мощность двигателя.
7. Определяют общее передаточное число приводного механизма и подбирают электродвигатель.
8. Определяют необходимый тормозной момент и подбирают тормоз.
9. Проверяют электродвигатель по времени пуска и ускорения.
10. Проверяют тормоз по времени торможения и замедлению.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

Крюки



однорогий

Кованые крюки



двурогий



однорогий

Пластинчатые крюки

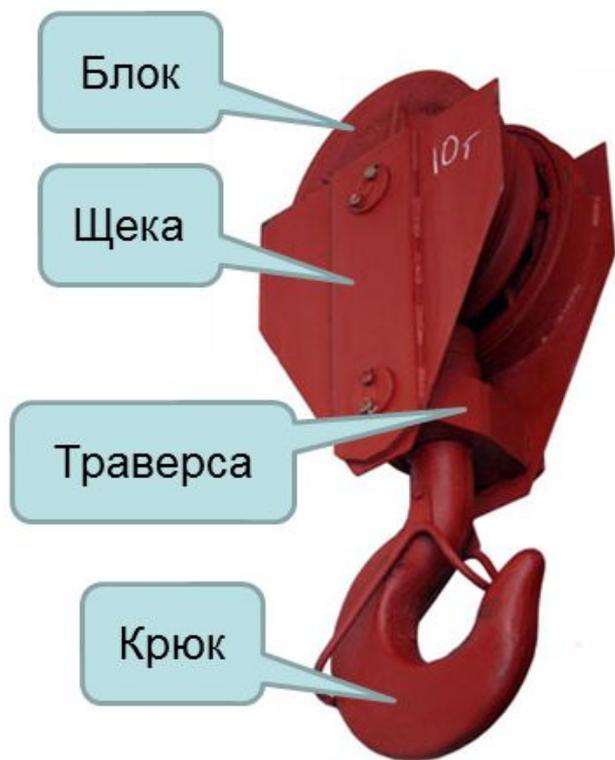


двурогий

Форма крюков выбрана такой, чтобы обеспечить их минимальные размеры и массу при достаточной прочности, одинаковой во всех сечениях.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

Крюковые (грузовые) подвески



Нормальная подвеска

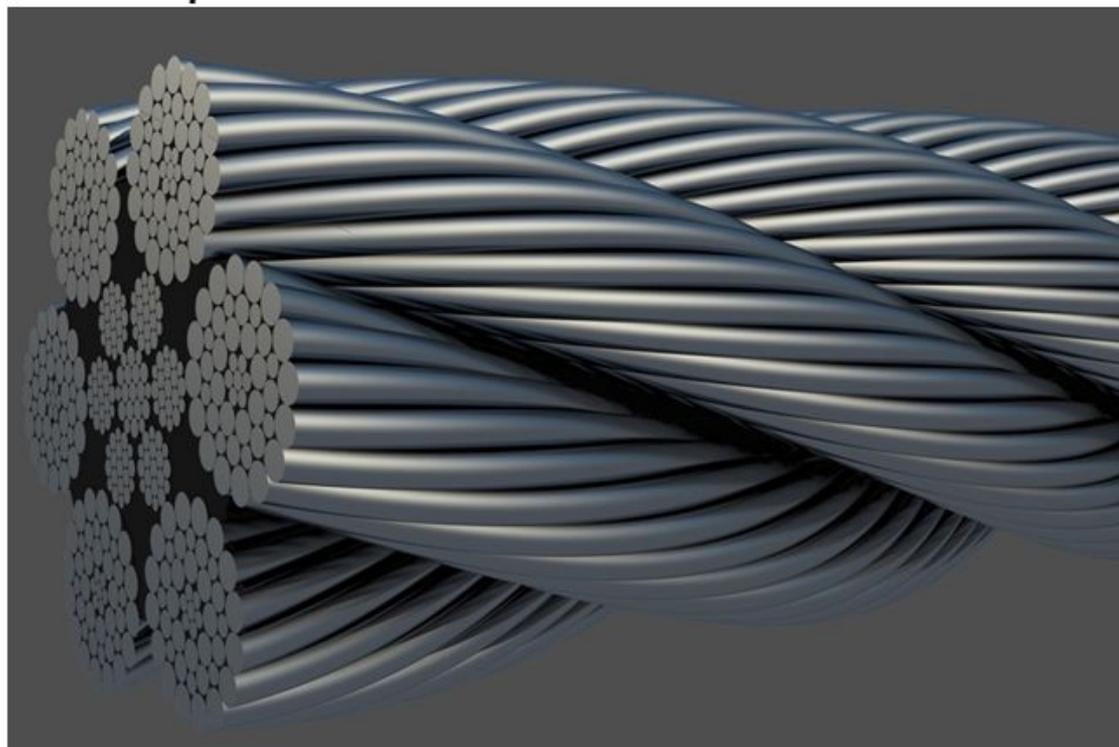


Укороченная подвеска

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

Стальные канаты

Применяются в качестве гибких подъемных органов.
Изготавливаются свивкой из стальных закаленных проволок.
Канаты, работающие во влажной среде, изготавливают из оцинкованных проволок.

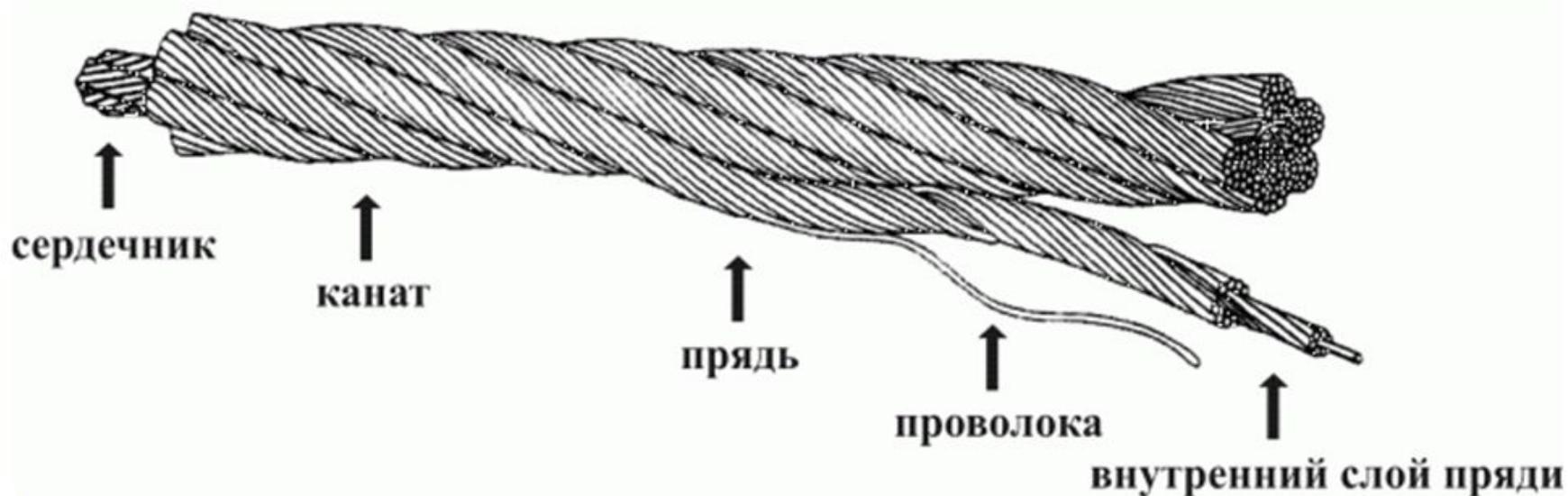


КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

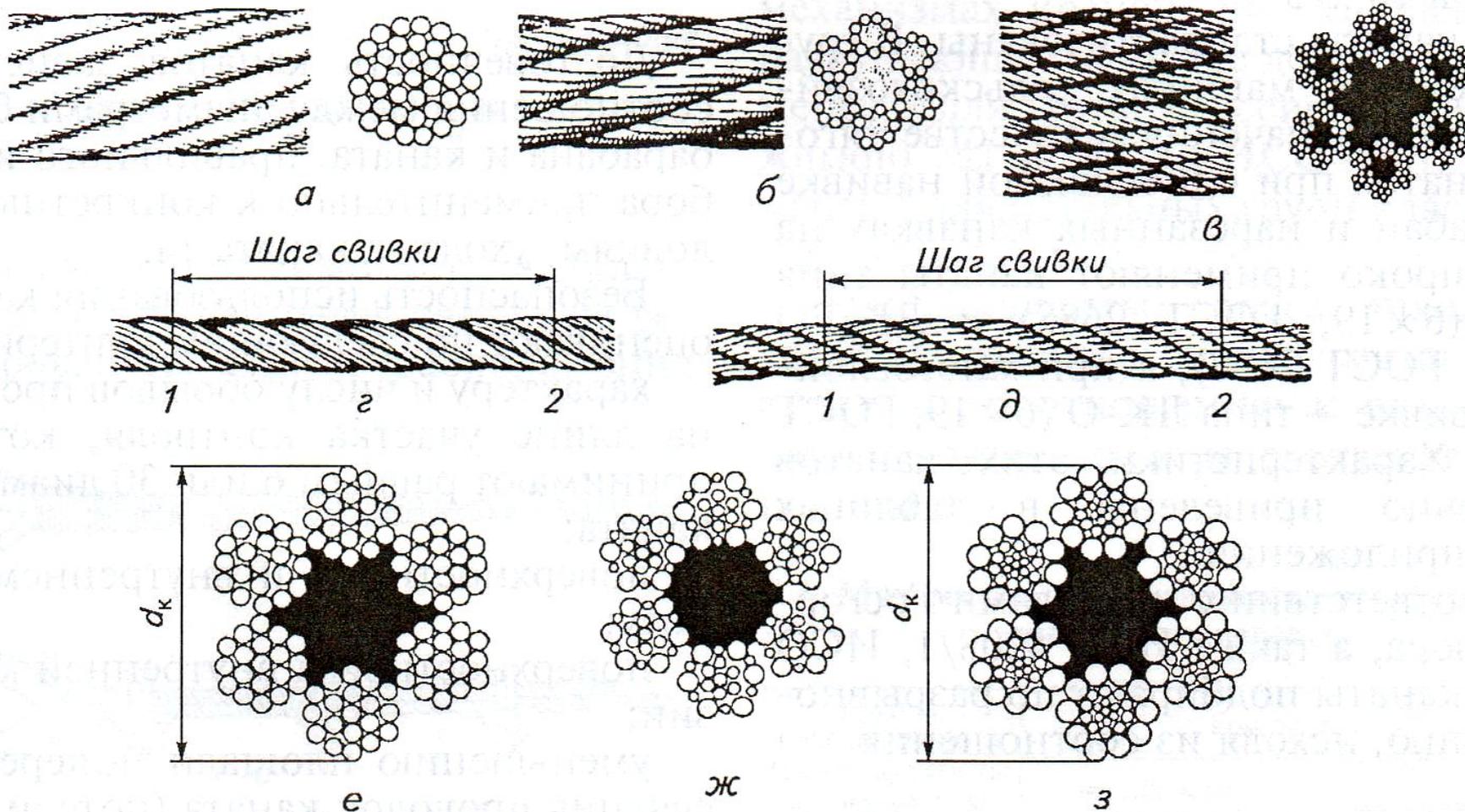
Стальные канаты

Канаты свивают из стальной круглой проволоки диаметром 0,5...2 мм.

Канаты свивают из проволок одного или разных диаметров. В центре каната помещается сердечник органический или металлический сердечник.



СТАЛЬНЫЕ КАНАТЫ



а – одинарной свивки; б – двойной свивки; в – тройной свивки; г – параллельной свивки; д – крестовой свивки; е – типа ЛК-О; ж – типа ЛК-Р; з – типа ЛК-РО;
 d_k – диаметр каната.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ КАНАТОВ

Все канаты стандартизованы.

В грузоподъемных машинах с.-х. назначения при однослойной навивке на барабан и нарезанных канавках на нем широко применяют канаты типа ЛК-Р (6х19, ГОСТ-2688) и ЛК-РО (6х36, ГОСТ-7668), при многослойной навивке – типа ЛК-О (6х19, ГОСТ-3077).

В соответствии с правилами Госгортехнадзора, а также ИСО4308/1, ИСО4308/2 канаты подбирают по разрывному усилию ($S_{разр}$):

$$S_{разр} \geq z_p S_{max}'$$

где S_{max}' - наибольшее натяжение тяговой ветви каната; z_p - коэффициент запаса прочности, определяемый в зависимости от группы классификации механизма по ИСО4301/1.

НАИБОЛЬШЕЕ НАТЯЖЕНИЕ ТЯГОВОЙ ВЕТВИ КАНАТА

$$S_{\max} = \frac{G}{aK_n \eta_{\text{бл}}^m},$$

где G – сила тяжести поднимаемого груза, Н;

$$G = Qg;$$

a – число полиспастов (одинарный, сдвоенный);

K_n – кратность полиспаста;

$\eta_{\text{бл}}$ – КПД блока;

m – число блоков.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

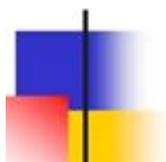
Канатные полиспасты

Полиспаст представляет собой систему подвижных и неподвижных блоков, соединенных гибкой связью (канатом или цепью)

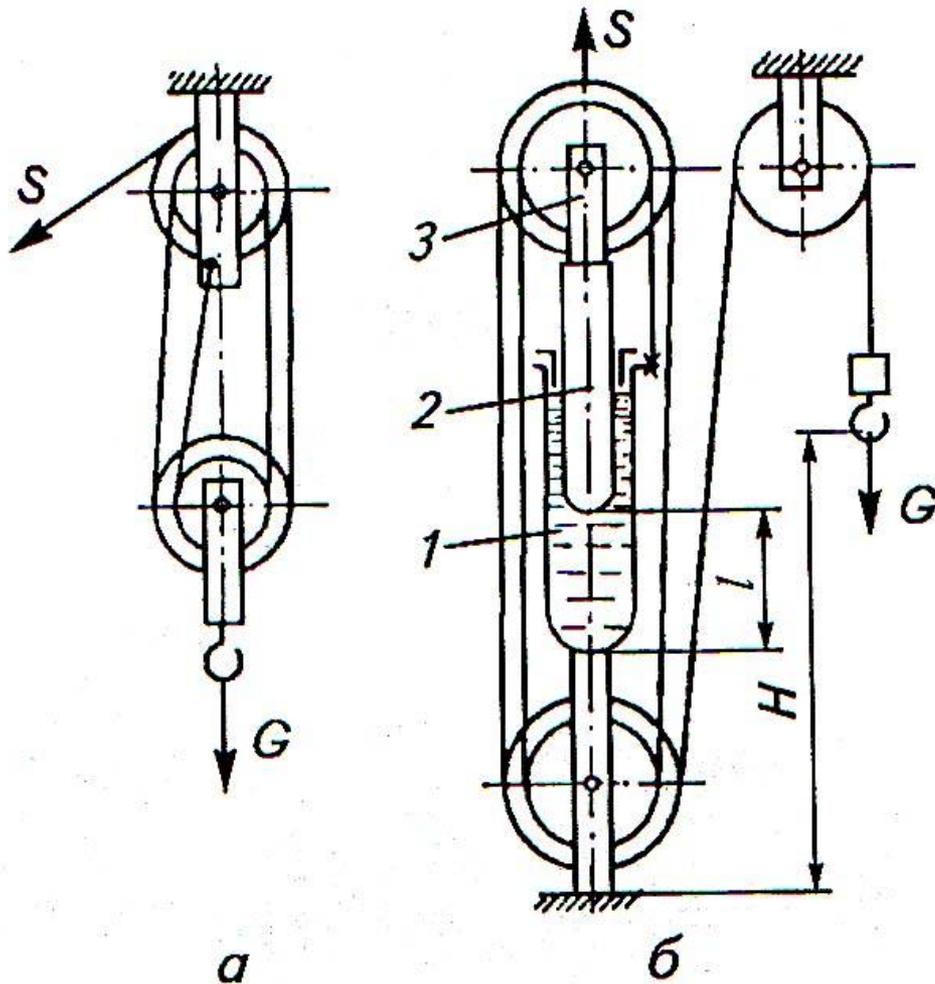
Применяется для:

- **увеличения силы** - силовые полиспасты или
- **скорости** - скоростные полиспасты.

В ГПМ применяют силовые полиспасты.



ПОЛИСПАСТЫ



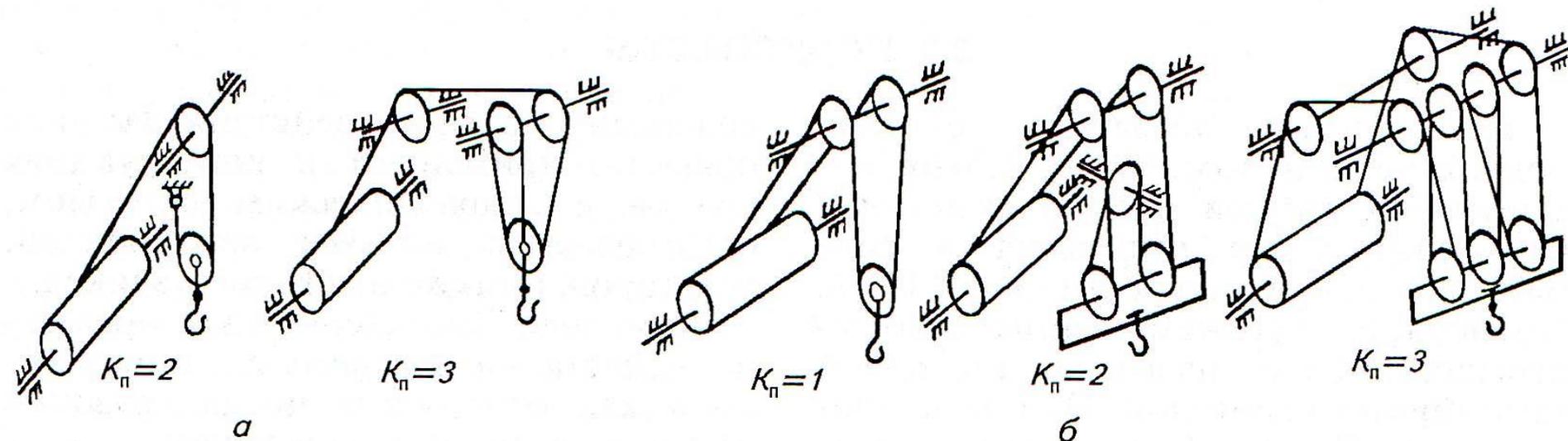
ПОЛИСПАСТ – система подвижных и неподвижных блоков, соединенных гибкой связью (канатом).

а – силовые (для увеличения силы);
б – скоростные (для увеличения скорости).

Основные характеристики:

- ❖ силового полиспаста - кратность полиспаста - отношение числа грузовых ветвей к тяговым ветвям;
- ❖ скоростного полиспаста – передаточное число – отношение высоты подъема груза (H) к высоте подъема тягового органа (l).

СХЕМЫ ПОЛИСПАСТОВ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ



а – одинарные; б – двойные

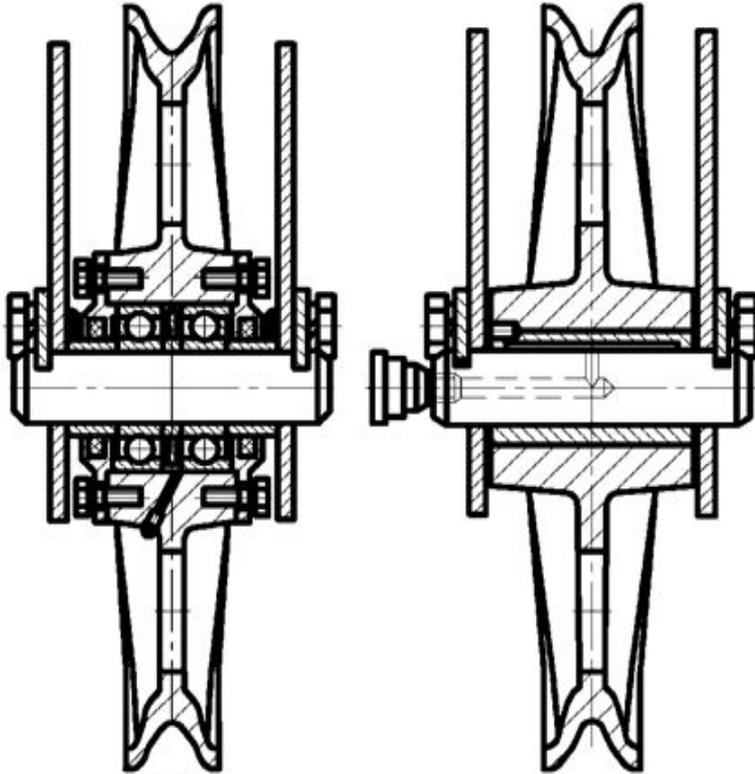
Одинарные полиспасты применяют в поворотных кранах.

Сдвоенные полиспасты применяют в кранах (мостовых, козловых и др.), где предусмотрено непосредственная навивка каната на барабан.

Сдвоенные полиспасты предотвращают вращение груза при подъеме и обеспечивают его подъем строго по вертикали.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

Канатные блоки



На подшипниках качения
скольжения



Литой



Точеный

ГРУЗОЗАХВАТНЫЕ ОРГАНЫ

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ:

- ❖ крюки однорогие и двурогие;
- ❖ грузовые петли

СПЕЦИАЛЬНЫЕ:

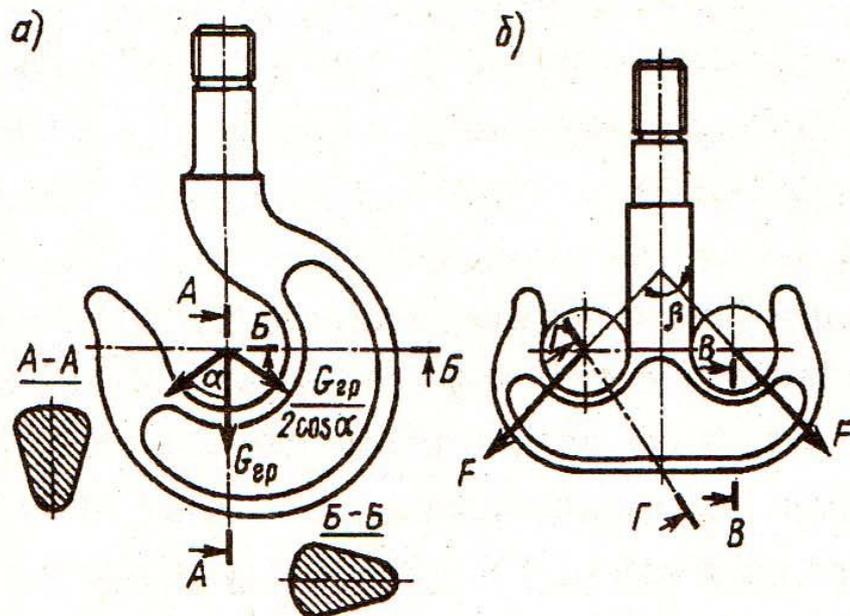
- ❖ ковши;
- ❖ захваты;
- ❖ грейферы;
- ❖ электромагниты

Грузозахватные органы

◆ крюки:

а) однорогие

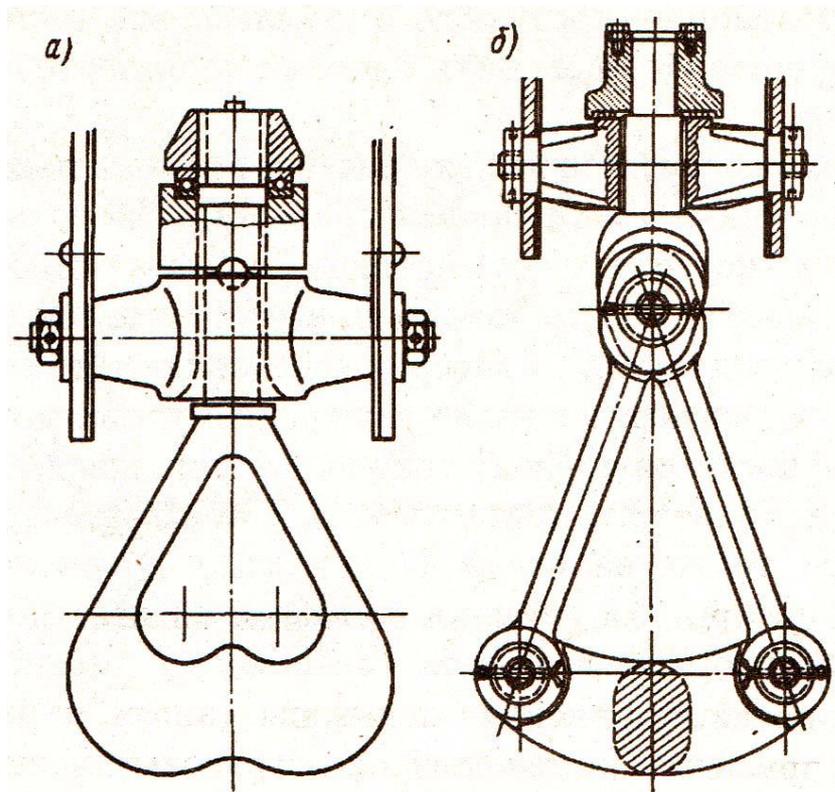
б) двурогие



◆ грузовые петли:

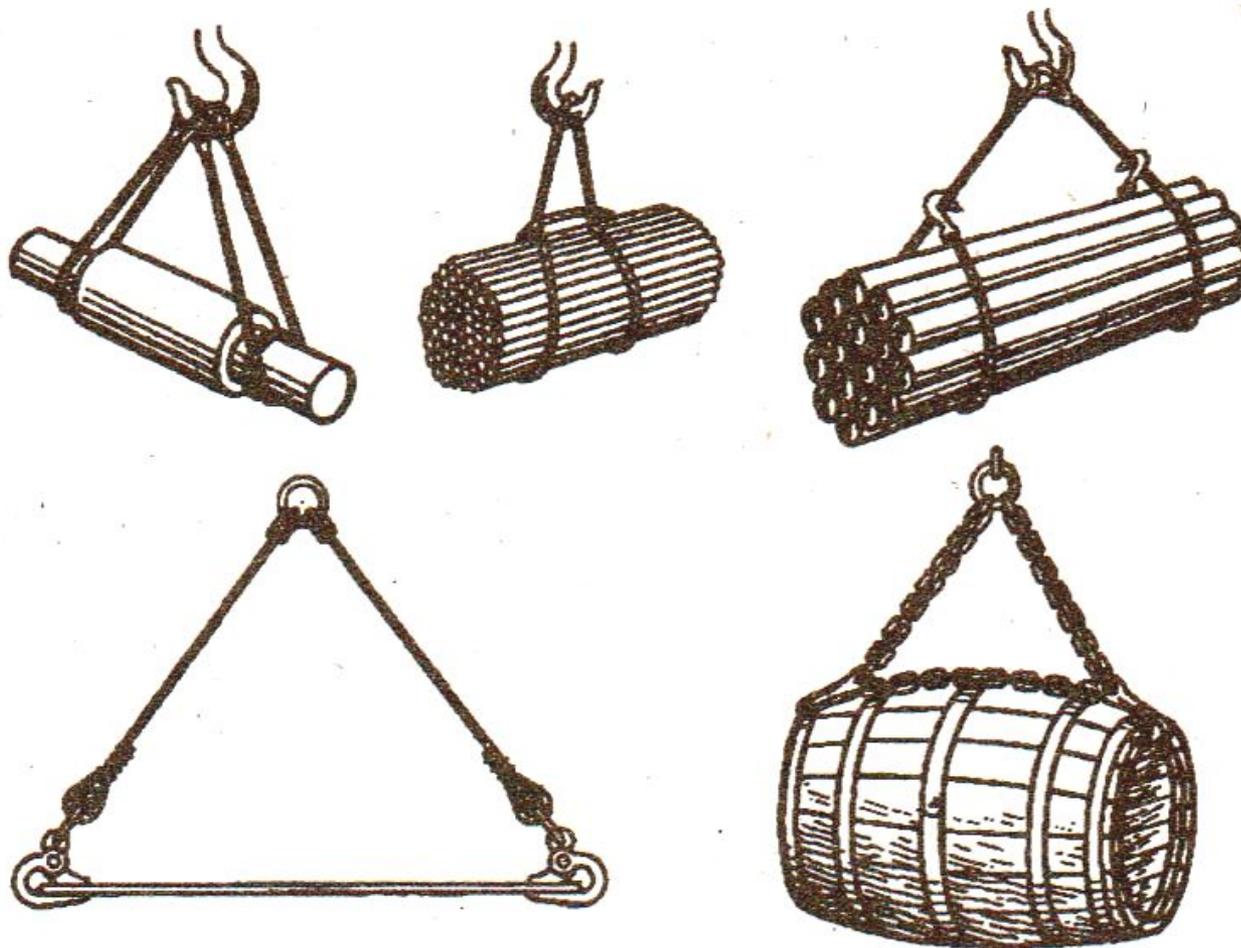
а) цельнокованные

б) составные



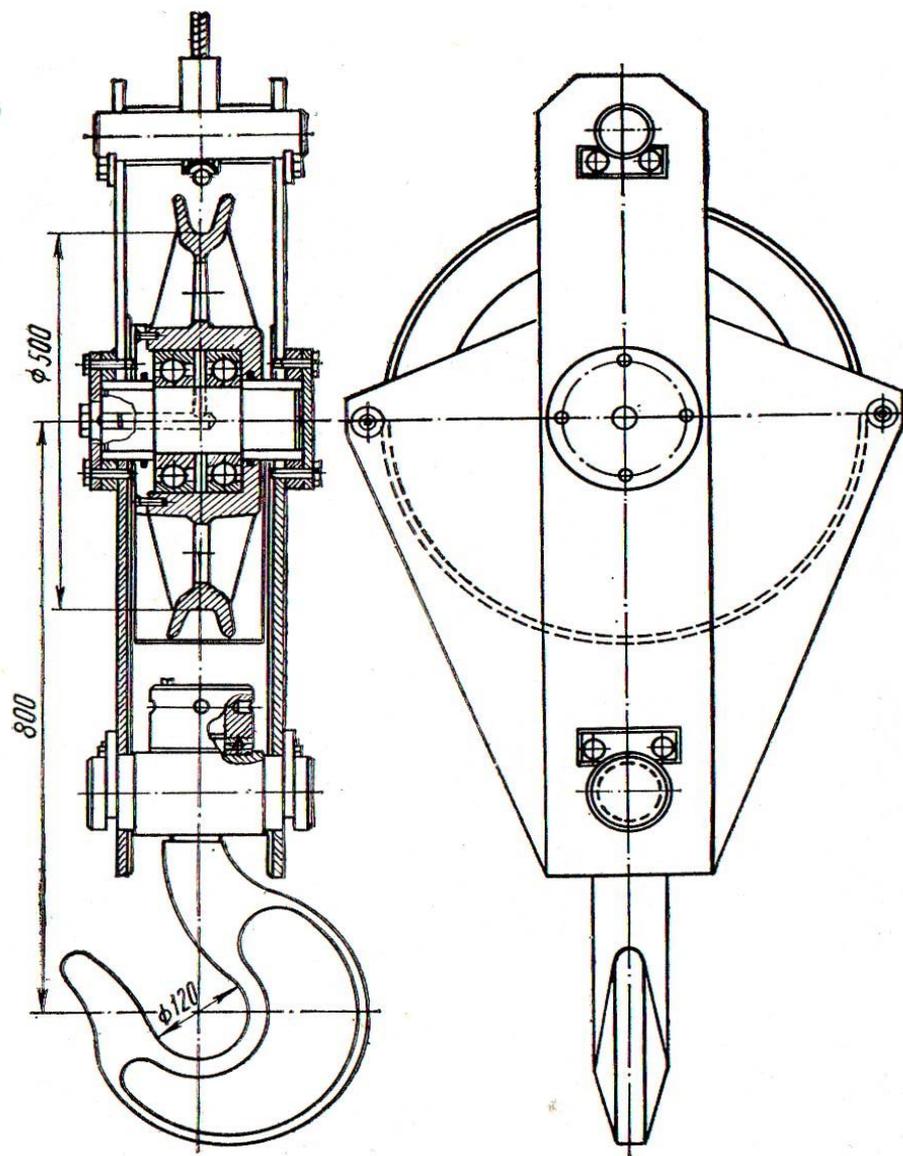
Грузозахватные органы

Захват груза стропами



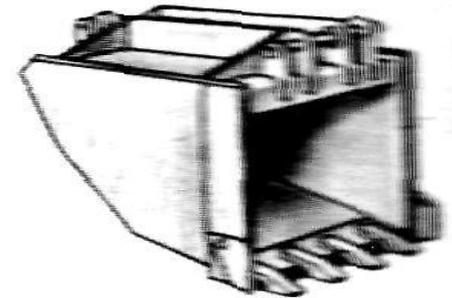
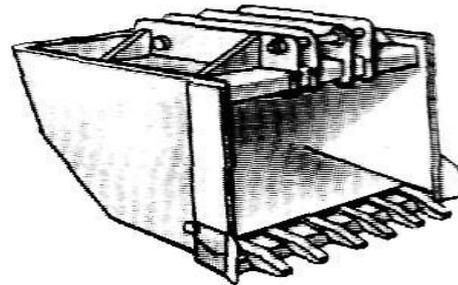
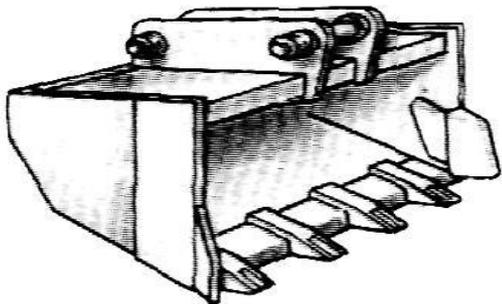
Грузозахватные органы

Крюковая подвеска

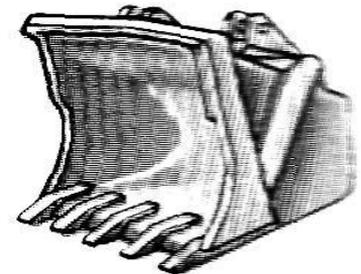
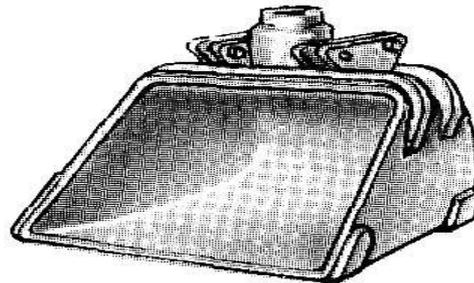
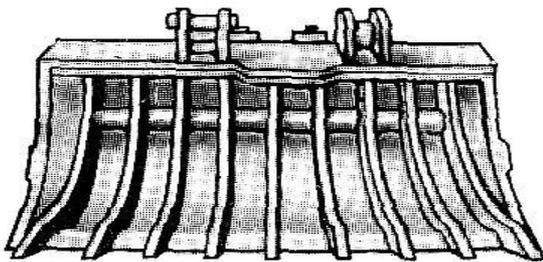


Грузозахватные органы

Ковши обратных лопат



Ковши для зачистных и погрузочных работ



Грузозахватные органы

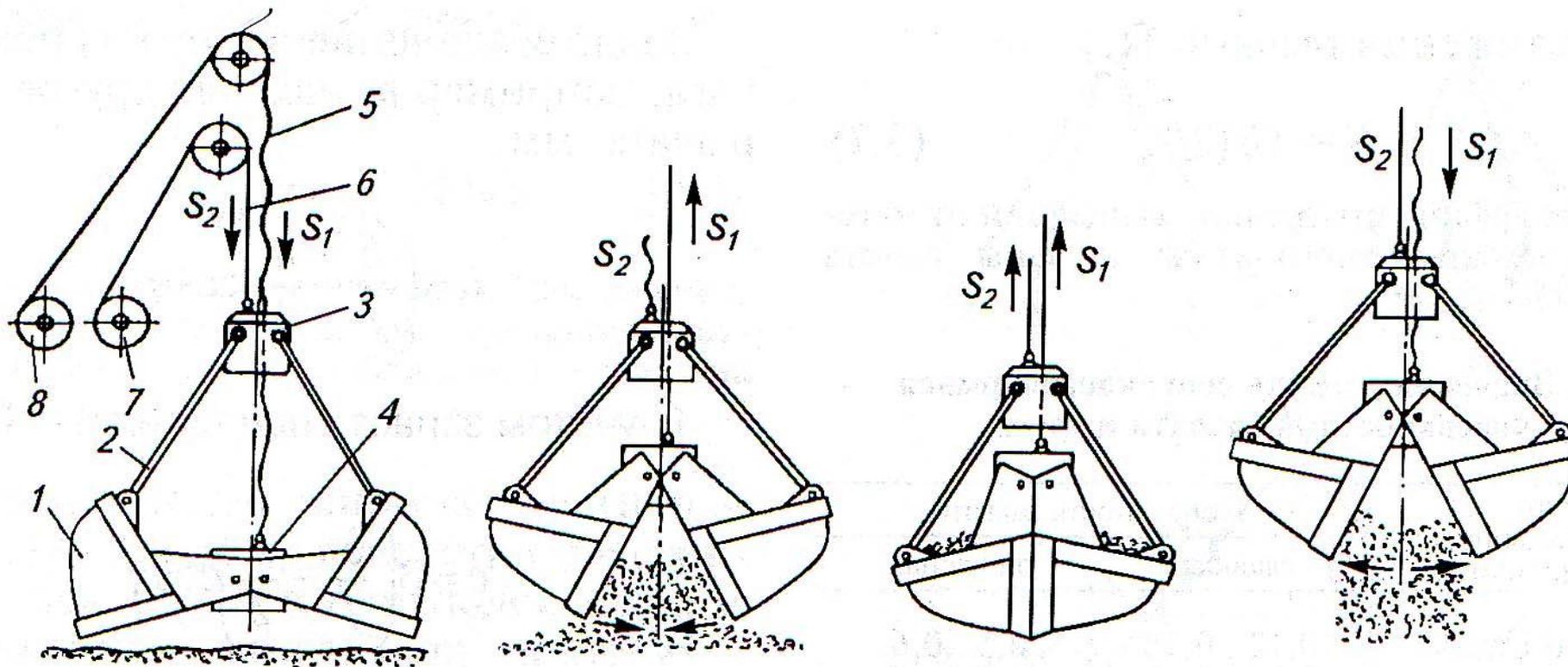
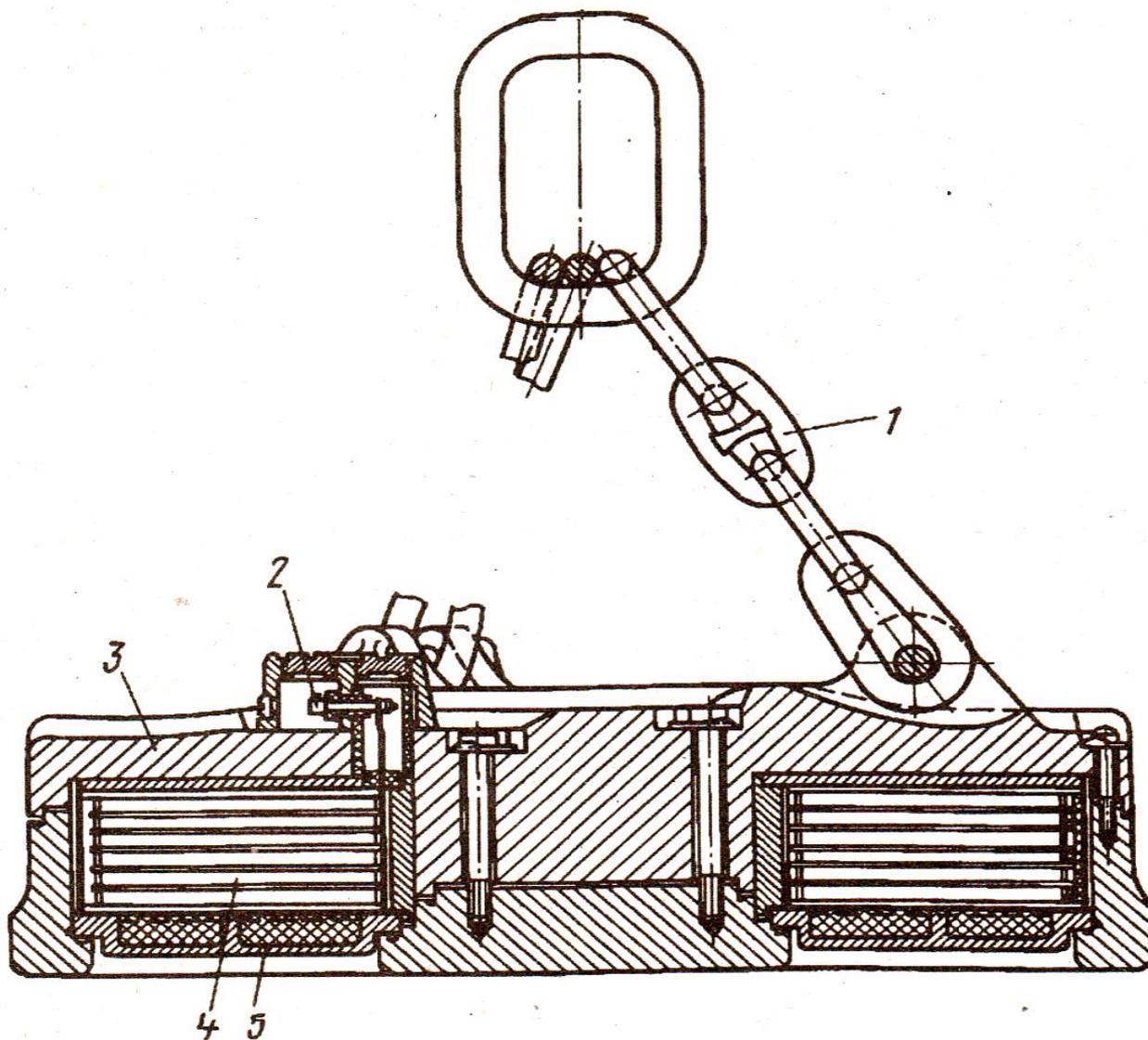


Схема работы двухканатного грейфера

1 – челюсти; 2 – тяги; 3 – верхняя головка; 4 – нижняя головка;
 5 – замыкающий канат; 6 – подъемный канат; 7, 8 – барабаны;
 S_1 и S_2 – усилия в замыкающем и подъемном канатах.

Подъемный электромагнит



- 1-цепь;
- 2- контактная коробка;
- 3 – корпус;
- 4 – обмотка;
- 5 – защитный лист

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

Канатные барабаны

Барабаны, так же как и блоки, отливают из серого чугуна или стали, иногда выполняют сварными из листового металла. Для легких условий работы допустимо применять барабаны из тонколистовой стали с накатанными на них канавками. Канат укладывается на барабан в один слой или в несколько слоев в зависимости от длины каната.



Сварной гладкий барабан
для многослойной навивки



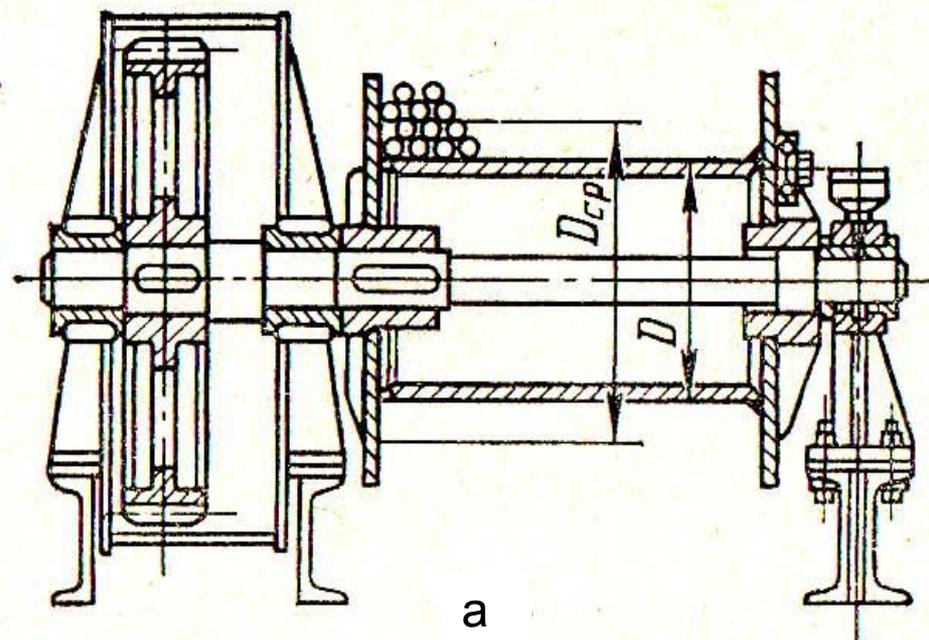
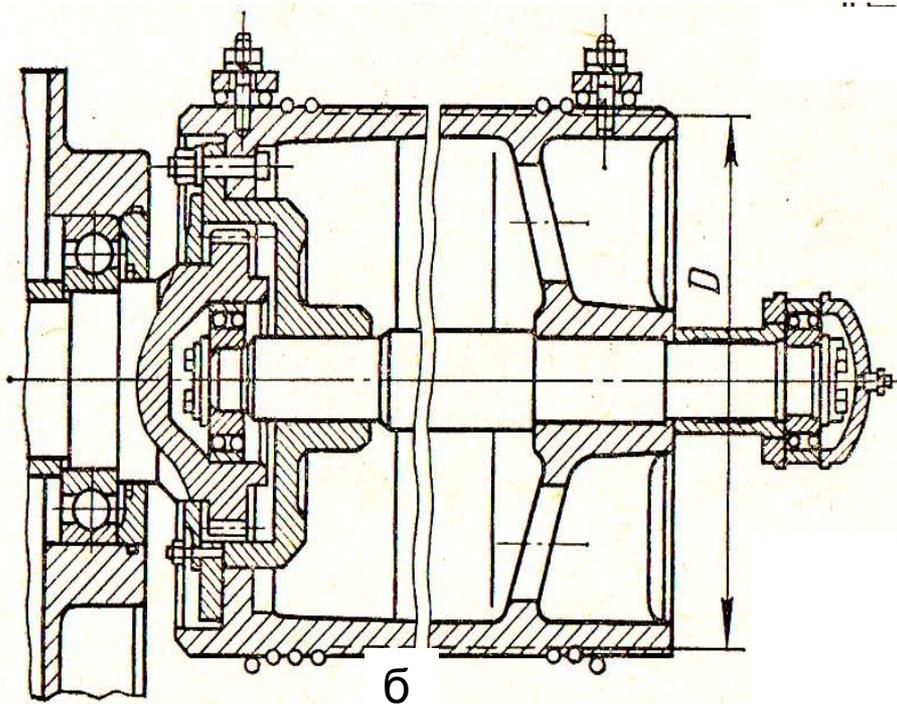
Литой нарезной барабан
для однослойной навивки

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

Канатные барабаны для сдвоенных полиспастов



БАРАБАНЫ



а – с многослойной навивкой каната;

б – с однослойной навивкой каната.

ПРОФИЛЬ КАНАВКИ ДЛЯ КАНАТА ПРИ ОДНОСЛОЙНОЙ НАВИВКЕ

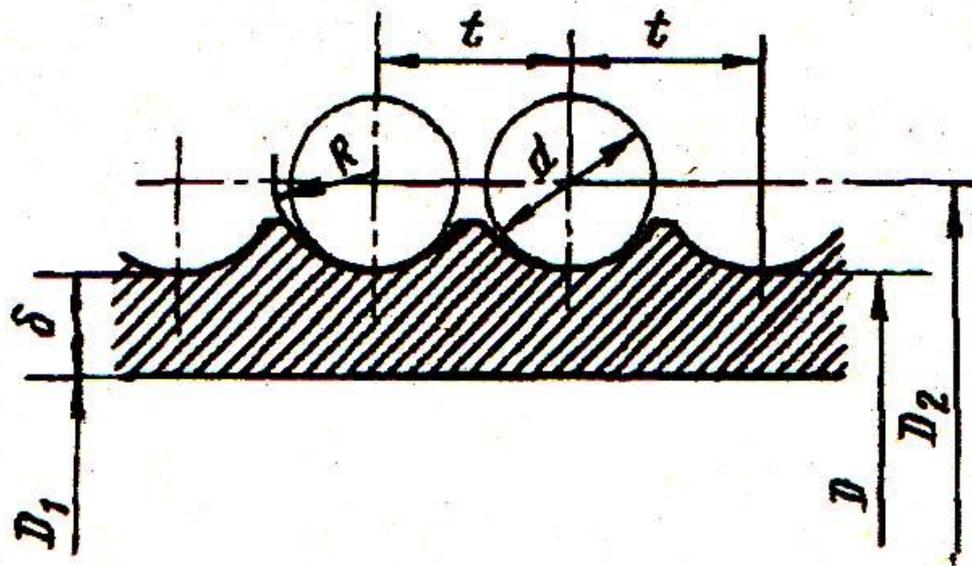
$$\delta = 0,02D_1 + 6...10\text{мм} \geq 8\text{мм}$$

$$D_1 \geq h_1 d_{\text{кан}},$$

где h_1 – коэффициент выбора диаметра барабана;

$d_{\text{кан}}$ – диаметр каната.

$t = d_{\text{кан}} + (2...3\text{мм})$ – шаг нарезки витков на барабане, мм.



Определение рабочей длины барабана при однослойной навивке канатов

$$L_{\bar{\sigma}} = Z \cdot p$$

Общее число витков на барабане $Z = Z_p + Z_3 + Z_d$;

Рабочее число витков $Z_p = \frac{L_{кан}}{\pi D_{\bar{\sigma}}}$,

где $L_{кан} = H \cdot K_{\Pi}$; H – высота подъема груза.

$Z_3 = 1,5 \dots 2$ – число витков, необходимое для закрепления каната на барабане;

$Z_d = 1,5$ – дополнительное число витков, рекомендуемое Госгортехнадзором для разгрузки крепления каната;

p – шаг навивки каната на барабан (см. справочник)

Расчет барабана на прочность

Стенки барабана испытывают напряжения сжатия, кручения и изгиба.

При $L_6 \leq 3D_1$ напряжения изгиба и кручения составляют 10...15% напряжений сжатия.

В этом случае достаточен расчет на сжатие:

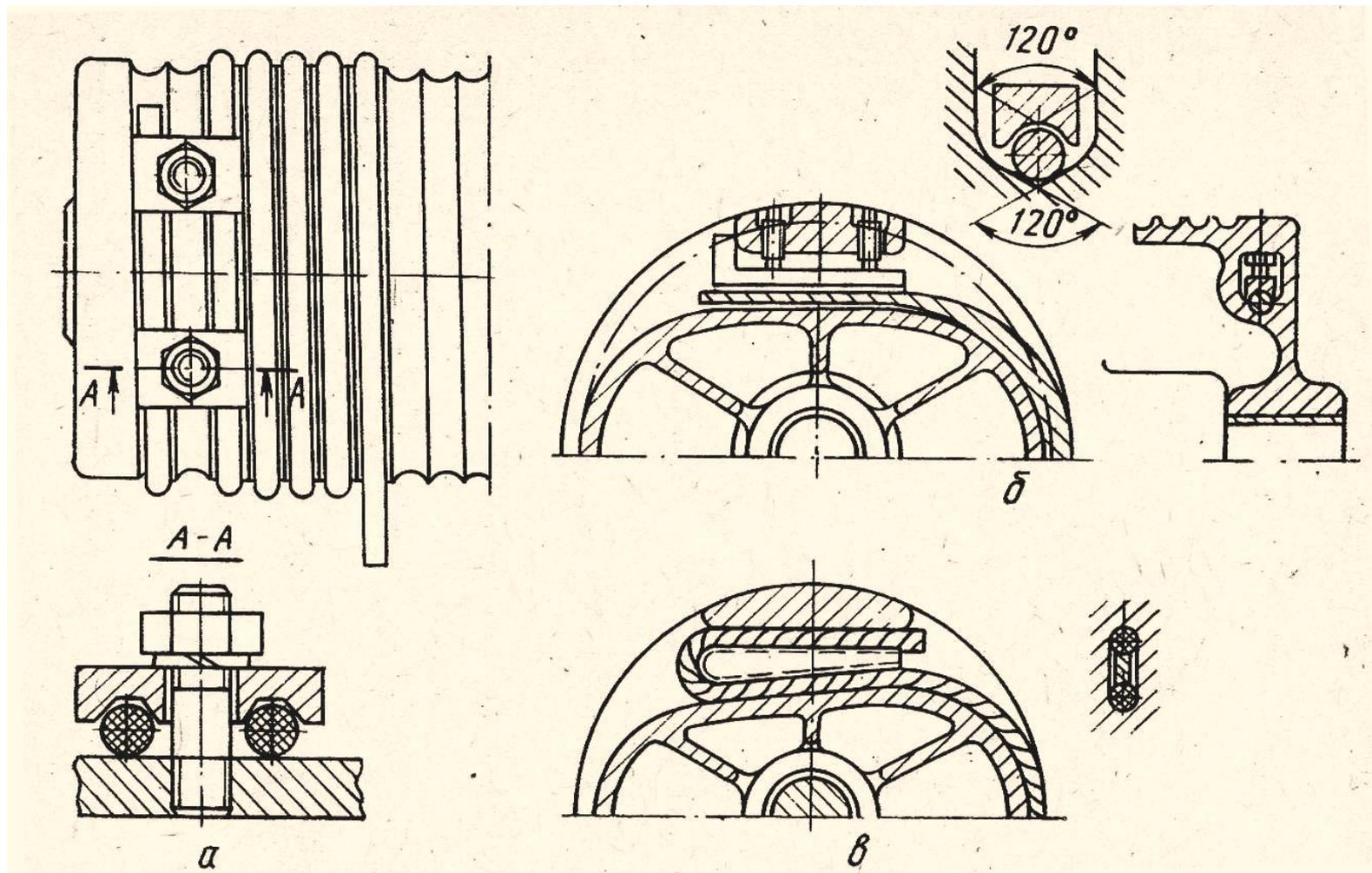
$$\sigma_{сж} = \frac{S_{\max}}{t\delta} \leq [\sigma_{сж}],$$

где $[\sigma_{сж}]$ - допустимые напряжения материала

барабана, Мпа;

t – шаг нарезки витков на барабане,

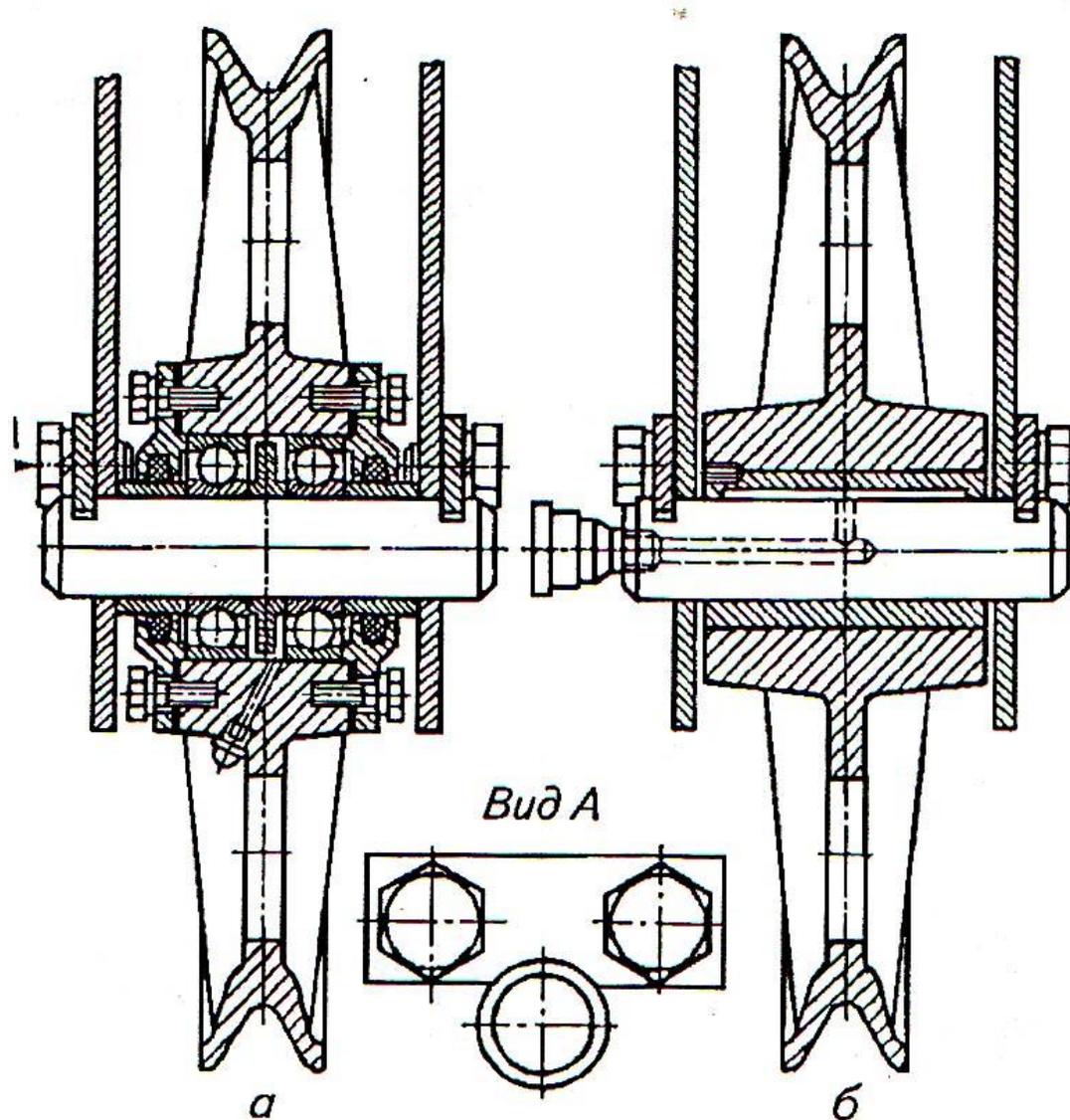
Крепление каната на барабане



а – наружными планками; б – прижатой планкой; в – клиновое крепление.

Конструкции блока в сборе

а – на подшипниках качения;
б – на подшипниках скольжения



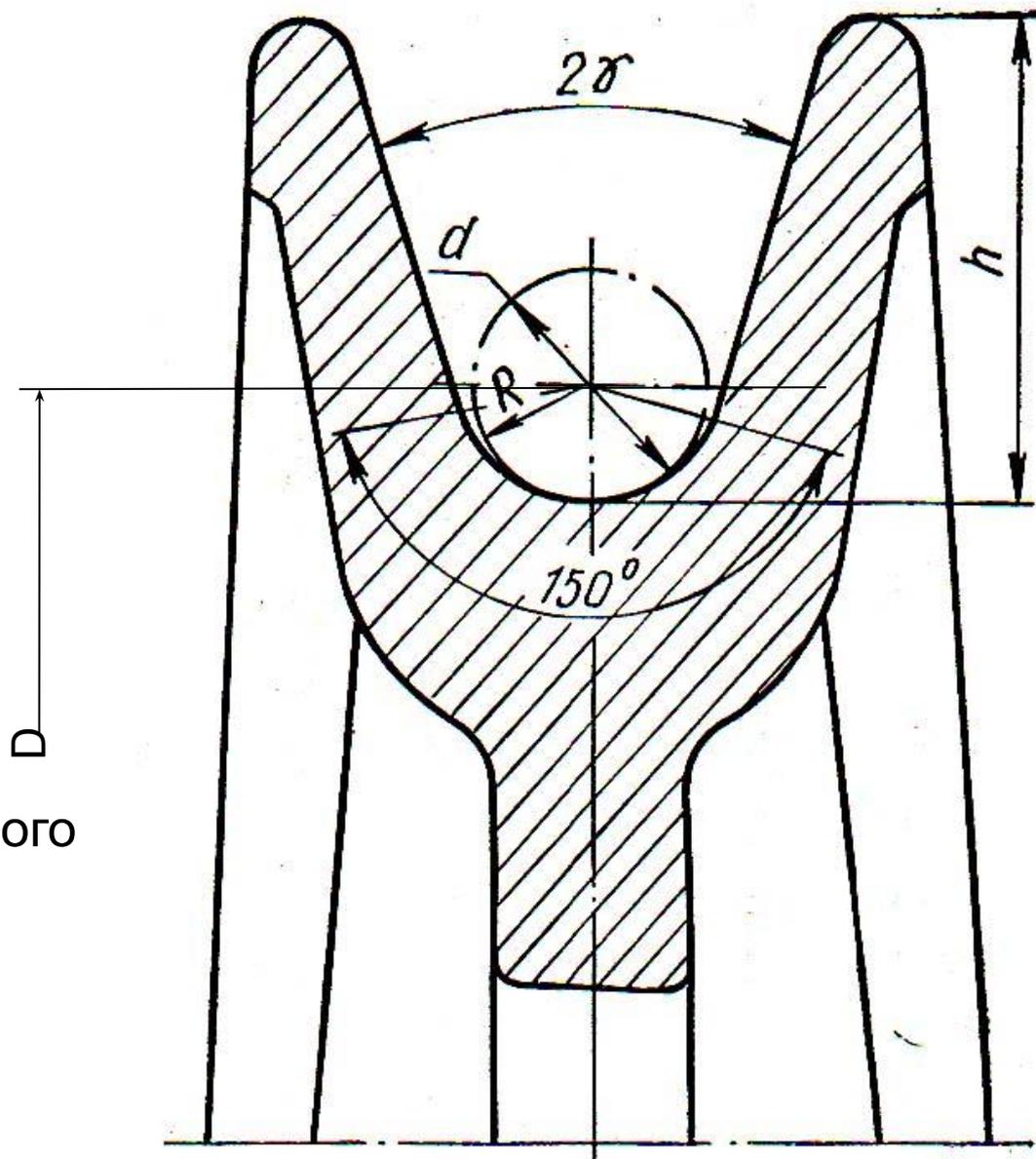
Профиль ручья блока

$$D_2 \geq h_2 d_{\text{кан}}$$

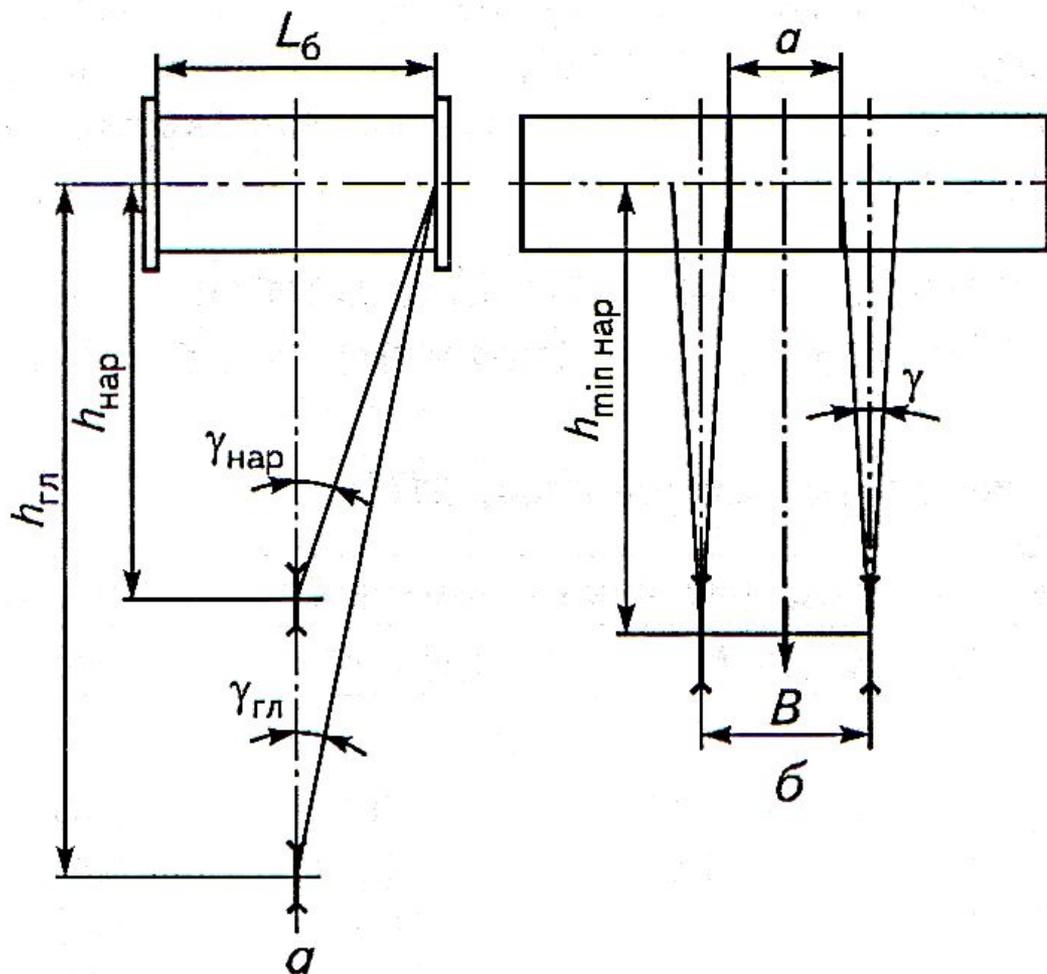
$$D_3 \geq h_3 d_{\text{кан}}$$

D_2 , D_3 – диаметры основного и уравнительного блоков

h_2 , h_3 – коэффициенты выбора диаметров блоков



Схемы к определению допустимых углов набегания каната на барабан



Для барабанов с винтовой канавкой:

$$h_{нар} = L_{б} / (2 \operatorname{tg} 6^{\circ});$$

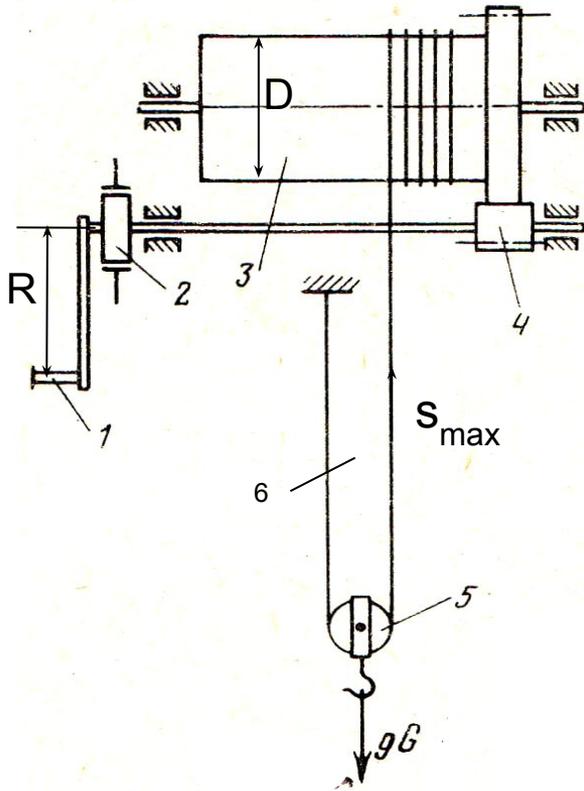
Для гладких барабанов:

$$h_{гл} = L_{б} / (2 \operatorname{tg} 2^{\circ});$$

Длина ненарезанной части барабана для сдвоенного Полиспаста:

$$a_{\max} = B - 2h_{\min нар} \operatorname{tg} \gamma.$$

РАСЧЕТ РУЧНОГО ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА



Момент сопротивления на грузовом барабане, Нм.

$$T_{\bar{o}} = S_{\max} \frac{D}{2}.$$

Момент, развиваемый рабочим, Нм.

$$T_p = F_{\text{раб.}} \cdot R \cdot i \cdot \gamma,$$

где $F_{\text{раб.}}$ - усилие рабочего, Н;

$R = 300 \dots 350$ мм – радиус рукоятки;

i – число рабочих;

γ – коэффициент неравномерности приложения усилий.

Передаточное число механизма между валом барабана и рукояткой $u = \frac{T_{\bar{o}}}{T_{\text{раб.}} \cdot \eta}$.
По u принимают тип передачи с последующим ее расчетом.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА

В механизмах подъема используют крановые электродвигатели:

❖ переменного тока

- серии МТК с короткозамкнутым ротором;
- серии МТ с фазовым ротором.

❖ постоянного тока серии Д.

При малых мощностях применяют электродвигатели АИР и 5А.

Двигатели серии МТК просты в устройстве и управлении, имеют меньшую массу, габариты и стоимость.

Их применяют при относительно небольшой частоте включений, когда не требуется регулирование скорости (электротали, кран-балки, тихоходные механизмы кранов).

Электродвигатели серии МТ

Их недостатки:

- имеют большую массу, габаритные размеры и стоимость;
- они сложнее в устройстве и управлении.

Их преимущества:

- позволяют регулировать скорость подъема (опускания) и торможения;
- изменять в широких пределах момент при пуске и торможении и получать требуемые ускорения;
- меньше теряют энергии при переходных процессах по сравнению с электродвигателями с короткозамкнутым ротором.

Рекомендации по использованию

При напряженных режимах работы (большие скорости, частые пуски и остановки).

Их устанавливают в механизмах большинства кранов, подъемников и конвейеров.

Подбор электродвигателей для механизма подъема

Подбирают по статической мощности, необходимой для подъема максимального груза

$$P_c = \frac{G \cdot V_{\Pi}}{\eta_o},$$

где G – сила тяжести груза, кН;

V_{Π} – скорость подъема груза, м/с;

η_o – общий к.п.д. механизма подъема.

Допускается применение электродвигателей с мощностью на 10...15% меньше статической

Проверка электродвигателей по условиям пуска

1. При невыгодном сочетании нагрузок и падении напряжения в сети на 15% от номинального

$$T_C \leq 0,7 T_{\max},$$

где T_C – момент сопротивления, приведенный к валу электродвигателя, Нм;
 T_{\max} – максимальный пусковой момент электродвигателя (по каталогу).

2. По времени пуска $t_{II} = \frac{(m \cdot D^2)_O}{38 \cdot T_H} \cdot t_{IIO} \leq [t_{II}]$,

где $(m \cdot D^2)_O = 1,2[(m \cdot D^2)_P + (m \cdot D^2)_T] + (m \cdot D^2)_{ГР}$, общий маховой момент;

$(m \cdot D^2)_P$ и $(m \cdot D^2)_T$ – маховые моменты ротора двигателя и тормозной муфты;

$(m \cdot D^2)_{ГР}$ – маховой момент груза, приведенный к валу двигателя;

t_{IIO} – поправка (по справочнику);

$$[t_{II}] = 1 \dots 2 \text{ с.}$$

Проверка по ускорению пуска

$$a \leq [a_{cp}]$$

Для механизмов подъема кранов общего назначения $[a_{cp}] = 0,3 \dots 0,6 \text{ м/с}^2$

При $P_{\partial в} < P_c$ двигатель проверяют на надежность работы при

соответствующем режиме: $P_{\partial в} \geq KP_{\partial в}$.

ПВ%	15	25	40	60
К	0,5	0,75	1	1,5

Эквивалентная мощность $P_{\partial в} = \gamma \cdot P_c$

где γ – коэффициент, определяемый по графику в зависимости от величины $t_{\Pi} / t_{\text{раб.}}$;

$t_{\text{раб.}} = l_{\text{раб.}} / V_{\Pi}$ - продолжительность рабочей операции.