

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Наземные транспортно-технологические комплексы»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта по дисциплине

«ГРУЗОПОДЪЁМНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ»(Б1.Б34)

для специальности 23.05.01

«Наземные транспортно-технологические средства»,
специализация «Подъемно-транспортные, строительные,
дорожные средства и оборудование».

Санкт-Петербург
2023

Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной формы обучения по специальности для специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование».

Методические указания содержат варианты заданий на курсовое проектирование по дисциплине «Грузоподъемные машины и оборудование», цели и задачи работ, методики расчетов грузоподъемных машин.

Методические указания разработали: к.т.н., доцент Коровин С.К.;
к.т.н., доцент Попов В.А.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основная цель курсового проектирования - формирование инженерных навыков расчета и проектирования грузоподъемных машин. При выполнении курсового проекта студент должен углубить и обобщить знания, приобретенные при изучении теории дисциплины «Грузоподъемные машины и оборудование».

В ходе проектирования студент получит навыки конструирования сложной сборочной единицы, научится увязывать противоречивые требования при выборе системы привода и принципов управления машиной.

При работе над заданной темой курсового проекта студенту необходимо помнить, что создаваемая им машина должна соответствовать действующим ГОСТам, Правилам Ростехнадзора (РТН), обладать необходимой прочностью, долговечностью и надежностью. В тоже время она должна быть создана без излишних запасов прочности, должна отвечать современным экономическим и эргономическим требованиям.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Тема курсового проекта должна быть комплексной. Обычно это проектирование крана общего назначения или крановой тележки, сложной лебедки и т.п.

Задание на курсовой проект должно содержать:

- объект на котором планируется установка грузоподъемной машины (цех промышленного предприятия, склад штучных или насыпных грузов и т.п.) с указанием его основных геометрических параметров;
- массы и типы грузов, которые необходимо перемещать и относительное время работы с каждым видом груза;

- режим работы предприятия (количество рабочих дней в год, число рабочих смен в сутки, продолжительность рабочей смены).

Исходя из задания студент самостоятельно определяется с типом грузоподъемной машины, ее основными параметрами (по согласованию с преподавателем).

Курсовой проект состоит из графической части и расчетно-пояснительной записки.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать: титульный лист, задание на проектирование, содержание, введение, основную часть, заключение, список литературы, приложения.

Студенту рекомендуется оформлять расчетно-пояснительную записку на РС с использованием текстовых редакторов MS Word. Объем записки 25-40 листов.

Графическая часть курсового проекта выполняется на чертежной бумаге формата А1, объемом 3-4 листа.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

1.1. Основные параметры

Основной характеристикой грузоподъемной машины является номинальная грузоподъемность Q_n , т. Грузоподъемность Q определяется

$$Q = Q_{i \max} \cdot k_{II}, \quad (1.1)$$

где $Q_{i \max}$ - максимальная масса груза, с которой будет работать грузоподъемная машина, т;

k_{II} - коэффициент, учитывающий перспективы развития предприятия, принимается равным 1,15...1,2.

Полученное значение Q округляют до ближайшего большего из стандартного ряда грузоподъемностей Q_H , т: 0,01; 0,0125; 0,016; 0,02; 0,025; 0,032; 0,04; 0,05; 0,063; 0,08; 0,10; 0,125; 0,16; 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,00; 2,50; 3,20; 4,00; 5,00; 6,3; 8,00; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 320; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250.

Грузоподъемную машину также характеризуют:

- вылет $R(m)$ для стреловых кранов (рис. 1, а);
- пролет $L(m)$ и вылет консоли $L_1(m)$ для кранов пролетного типа (рис. 1, б);

- высота подъема крюка $H(m)$, $H=H_1+H_2$, H_1 - высота подъема крюка над уровнем стоянки, H_2 - глубина опускания крюка ниже уровня стоянки;

- колея $K(m)$;

- база $B(m)$;

- группа режима работы крана и механизмов.

Базовыми параметрами являются скорости подъема груза, передвижения крана и тележки, поворота крана и его отдельных частей. Кран характеризуется также массой и металлоемкостью.

1.2. Группы режимов работы механизмов и крана

1.2.1. Группы режимов работы механизмов

Группа режима работы механизма назначается в зависимости от класса использования и класса нагружения (табл. 1.1).

Класс использования выбирается в зависимости от времени нахождения механизма в движении $T_{мех}$, ч (табл. 1.2)

$$T_{мех} = T_{Г} \cdot N_{Г} \cdot k_{Г} \cdot k_{С} \frac{n_{у} \cdot T_{у}}{3600} \cdot \frac{ПВ}{100}, \quad (1.2)$$

где $T_{Г}$ - число часов в году;

$N_{Г}$ - срок службы крана в годах;

k_{Γ} - коэффициент, использования грузоподъемной машины по времени в течении года; $k_{\Gamma}=0,7...1$ - для кранов, используемых непрерывно (цеховые краны, портовые краны, работающие в устойчивом технологическом потоке); $k_{\Gamma}<1$ для кранов, используемых только часть года по климатическим условиям (например, в замерзающих портах) или по условиям организации работ; например, для порталных перегрузочных кранов $k_{\Gamma}=0,28...0,46$; $k_{\Gamma}\leq 0,2$ при нерегулярной редкой работе (ремонтные краны, краны для тяжеловесов);

k_C - коэффициент использования крана по времени в течении суток; $k_C\leq 0,33$ при односменной работе, $k_C\leq 0,67$ при двухсменной работе; $k_C\leq 1,0$ при трехсменной работе.

$T_{\text{Ц}}$ - длительность цикла работы крана, с;

$n_{\text{Ц}}$ - число циклов работы крана в час ($n_{\text{Ц}}\leq 3600/T_{\text{Ц}}$);

$PВ$ - продолжительность включения механизма, %, определяется по циклограмме.

Таблица 1.1.

Группы режимов работы механизмов (ГОСТ 25835-83)

Класс использования	Группа режима для класса нагружения				Класс использования	Группа режима для класса нагружения			
	В1	В2	В3	В4		В1	В2	В3	В4
А1	1М	1М	1М	2М	А4	3М	4М	5М	6М
А2	1М	1М	2М	3М	А5	4М	5М	6М	-
А3	1М	2М	3М	4М	А6	5М	6М	-	-
А4	2М	3М	4М	5М					

Таблица 1.2.

Классы использования механизмов (ГОСТ 25835-83)

Класс использования	Общее время работы, ч	Класс использования	Общее время работы, ч
А0	До 800	А4	Св. 6 300 до 12 500
А1	Св. 800 до 1 600	А5	Св. 12 500 до 25 000
А2	Св. 1 600 до 3 200	А6	Св. 25 000 до 50 000
А3	Св. 3 200 до 6 300		

Класс нагружения механизма устанавливают в зависимости от коэффициента нагружения K (табл. 1.3)

$$K = \sum \left(\frac{P_i}{P_H} \right)^3 \frac{t_i}{\sum t_i}, \quad (1.3)$$

где P_i - нагрузка, действующая на механизм в i - й период времени;

P_H - номинальная нагрузка на механизм;

$\sum t_i$ - суммарное время действия нагрузки на механизм, %.

Таблица 1.3.

Класс нагружения механизма (ГОСТ 25835-83)

Класс нагружения	B1	B2	B3	B4
Коэфф. нагружения	До 0,125	Св. 0,125 до 0,25	Св. 0,25 до 0,5	Св. 0,5 до 1,0

1.2.2. Группы режимов работы кранов

Режим работы крана определяется в зависимости от класса использования и класса нагружения (табл. 1.4).

Таблица 1.4.

Группы режимов работы кранов (ГОСТ 25546-82)

Класс использования	Группы режимов работы кранов для класса нагружения					Класс использования	Группы режимов работы кранов для класса нагружения				
	Q0	Q1	Q2	Q3	Q4		Q0	Q1	Q2	Q3	Q4
C0	-	-	1К	1К	2К	C5	3К	4К	5К	6К	7К
C1	-	1К	1К	2К	3К	C6	4К	5К	6К	7К	8К
C2	1К	1К	2К	3К	4К	C7	%к	6К	7К	8К	8К
C3	1К	2К	3К	4К	5К	C8	6К	7К	8К	8К	-
C4	2К	3К	4К	5К	6К	C9	7К	8К	8К	-	-

Класс нагружения определяется коэффициентом нагружения K_p , в соответствии с табл. 1.5

$$K_P = \sum \left(\frac{Q_i}{Q_H} \right)^3 \cdot \frac{c_i}{c_T}, \quad (1.4)$$

где Q_i - масса груза, перемещаемого краном с числом циклов c_i , т;

c_T - число циклов работы крана за срок его службы.

Таблица 1.5.

Класс нагружения крана (ГОСТ 25546-82)

Класс нагружения	Q0	Q1	Q2	Q3	Q4
Коэфф. нагружения	До 0,063	Св. 0,063 до 0,125	Св. 0,125 до 0,25	Св. 0,25 до 0,5	Св. 0,5 до 1,0

Класс использования характеризуется числом циклов работы крана за срок его службы, в соответствии с табл. 1.6.

Таблица 1.6.

Класс использования кранов (ГОСТ 25546-82)

Класс использования	Общее число циклов работы крана за срок его службы	Класс использования	Общее число циклов работы крана за срок его службы
C0	До $1,6 \cdot 10^4$	C5	Св. $2,5 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^5$
C1	Св. $1,6 \cdot 10^4$ до $3,2 \cdot 10^4$	C6	Св. $5 \cdot 10^5$ до $1 \cdot 10^6$
C2	Св. $3,2 \cdot 10^4$ до $6,3 \cdot 10^4$	C7	Св. $1 \cdot 10^6$ до $2 \cdot 10^6$
C3	Св. $6,3 \cdot 10^4$ до $1,25 \cdot 10^5$	C8	Св. $2 \cdot 10^6$ до $4 \cdot 10^6$
C4	Св. $1,25 \cdot 10^5$ до $2,5 \cdot 10^5$	C9	Св. $4 \cdot 10^6$

Так как, в настоящее время действуют Правила ГТН, регламентирующие режимы работы и ГОСТ 25835-83, 25546-82, регламентирующие группы режимов работы, то для их сопоставления рекомендуется использовать табл. 1.7.

Таблица 1.7.

Режим работы по Правилам ГТН	Л	С	Т	ВТ
Группа режимов работы механизмов по ГОСТ 25835-83	1М, 2М, 3М	4М	5М	6М
Группа режимов работы кранов по ГОСТ 25546-82	1К, 2К, 3К	4К, 5К	6К, 7К	8К

В соответствии с ГОСТ 25546-82 и 25835-83 установлены классификационные режимные группы кранов различного назначения и режимные группы их механизмов (табл. 1.8).

Таблица 1.8.

Рекомендуемые группы режимов работы кранов и механизмов

Наименование кранов		Назначение кранов	Группы режима работы механизма					
Мостовые и козловые с приводными подвесными талями	1К	Ремонтные	2М	-	2М	2М	-	-
	2К	Перегрузочные ограниченной интенсивности, общего назначения, вспомогательные в механических цехах	3М	-	3М	3М	-	-
	3К	Перегрузочные средней интенсивности, основные механических цехов с ограниченной интенсивностью	4М	-	3М	3М	-	-
Мостовые и козловые с грузовыми тележками, крюковые и с захватами	2К	Монтажные для работы на строительных площадках и в машинных залах	1М	1М	2М	2М	-	-
	3К	Перегрузочные работы ограниченной интенсивности (редкого использования)	3М	3М	3М	3М	-	-
Мостовые и козловые с грузовыми тележками, крюковые и с захватами	5К	Для работы в цехах и на складах промышленных предприятий при средней интенсивности; на лесных складах строительных материалов	4М	4М	4М	4М	-	-
	7К	Для промышленных предприятий при круглосуточной работе; литейные цехи; для перегрузки лесоматериалов	5М	4М	4М	5М	-	-
Мостовые с грейферами двухканатного типа, магнитно-грейферные	6К	Смешанные склады, работа с разнообразными грузами, преимущественно сезонное использование	5М	-	5М	5М	-	-
	7К	Склады насыпных грузов и металлолома, некруглосуточная работа	5М	-	5М	5М	-	-
Грейферные перегружатели	8К	Склады насыпных грузов	6М	-	6М	4М	-	-

Наименование кранов	Назначение кранов	Группы режима работы механизма						
Мостовые с грейферами двух- канатного типа, магнитно-грей- ферные	8К	Цехи и склады металлур- гических предприятий; крупные металлобазы, круглосуточная работа	6М	4М	6М	6М	-	-
Штабелеры: управляемые из кабины и автома- тического дей- ствия, управляе- мые с пола	6К	Склады автоматизиро- ванные	5М	-	5М	5М	4М	-
	5К	То же	4М	-	4М	4М	3М	-
	3К	Монтаж промышленных зданий и сооружений	3М	3М	3М	3М	3М	3М
Башенные строи- тельные всех ти- пов и назначения	4К	Домостроительные ком- бинаты; склады строи- тельных деталей	4М	3М	3М	3М	3М	3М
	7К	Строительство гидро- технических сооружений	5М	3М	4М	3М	4М	3М
Портальные крю- ковые перегру- зочные	6К	Транспортные и склад- ские объекты	5М	4М	-	4М	5М	5М
Портальные грейферные	7К	Склады и порты при се- зонной работе	5М	-	-	3М	4М	4М
	8К	Склады и порты при круглосменной кругло- годичной работе	6М	-	-	4М	5М	5М
Консольные пе- редвижные	4К	Общего назначения	4М	-	3М	-	3М	-
	6К	Литейные цехи	5М	-	4М	4М	3М	-
Настенные кон- сольные	3К	Общего назначения	3М	-	3М	-	3М	-
Стреловые само- ходные	2К	Монтаж промышленного и энергетического обо- рудования	2М	2М	-	-	2М	2М
	3К	Погрузочные и монтаж- но-строительные работы	3М	3М	-	-	3М	3М
Плавающие	3К	Монтажные работы	3М	4М	3М	-	4М	3М
	5К	Для перегрузки сыпучих грузов	5М	4М	-	-	4М	4М

1.3. Выбор скорости рабочих органов ГПМ

Номинальные скорости движения рабочих органов грузоподъемных машин регламентированы стандартами на различные типы кранов, талей, кран-балок и др.

Скоростные параметры определяют производительность механизмов, их энергоемкость и технологические условия работы. Для мостовых и козловых кранов общего назначения практикой выработаны скоростные параметры, приведенные в табл. 1.9.

Таблица 1.9.
Номинальные скорости движения рабочих органов ГПМ

Наименование	Скорость, м/с		
	подъема	передвижения крана	Передвижения тележки
Краны, управляемые с пола, режимных групп 3К-5К, а также краны, управляемые из кабины, режимной группы 3К	0,1-0,15	0,6-0,8	0,35-0,5
Мостовые и козловые крана режимных групп 4К-5К, управляемые из кабины	0,1-0,2	0,8-1,0	0,5-0,6
Мостовые краны режимных групп 6К-7К, управляемые из кабины	0,3-0,4	1,2-1,5	До 0,7
Взрывобезопасные краны режимных групп 2К-3К	0,05-0,06	0,5-0,8	0,15-0,2
Кран-балки, электротали режимных групп до 3К	0,1-0,15	До 0,8	До 0,2
Магнитные и грейферные мостовые краны режимных групп 7К-8К	0,5-0,7	До 2	0,8-1,2
Портальные перегрузочные крюковые и грейферные краны	1-1,2	0,5	1,5* мин ⁻¹
Грейферно-бункерные перегружатели	1,2-1,4	0,5	1,3-2
Козловые контейнерные перегружатели	0,15-0,18	1-1,3	0,7-0,8
Штабелеры	0,15-0,2	1,2-1,5	0,2**
Рудно-угольные перегружатели	0,6-0,8	До 1	До 3
* Скорость поворота			
** Скорость выдвижения захвата			

ГЛАВА 2. РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ГРУЗА

2.1. Исходные данные

В качестве исходных данных принимаются:

- тип машины;
- номинальная грузоподъемность Q_n , т;
- максимальные высота подъема крюка H , м
- скорость подъема $V_{п}$, м/с;
- группа режима работы механизма;
- относительная продолжительность включения ПВ, %;
- род тока.

2.2. Выбор кинематической схемы механизма

Перед выбором кинематической схемы необходимо выяснить как передается силовой поток от двигателя к рабочему органу. Основной задачей при выборе схемы является определение типа и кратности полиспаста. Рекомендации по выбору приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Тип (z) и кратность (u_n) полиспаста

Характер навивки каната на барабан	Тип полиспаста	Кратность при грузоподъемности, т				
		до 1	2...8	10...15	20...30	40...50
Непосредственно	сдвоенный	2	2	2; 3	3; 4	4; 5
	одинарный	1	2	-	-	-
Через направляющие блоки (стреловые, некоторые козловые)	одинарный	1; 2	2; 3	3; 4	5; 6	-
	сдвоенный	-	2	2; 3	-	-

Например, для мостовых кранов предпочтительна схема, показанная на рис. 2.1.

Окончательно с компоновкой механизма определяются после выбора всех его элементов. Наибольшее распространение получили схемы приведенные на рис. 2.2. Расположение сборочных единиц по схеме рис. 2.2, а) отличается удобством монтажа и обслуживания, но большими габаритами из-за расположения двигателя и барабана по разные стороны от редуктора.

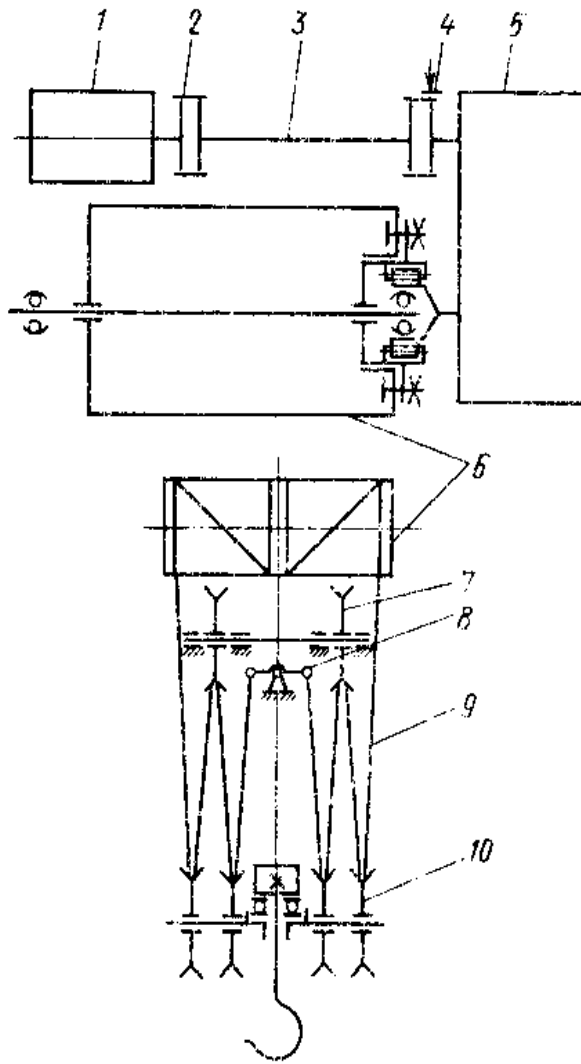


Рис. 2.1. Кинематическая схема механизма подъема мостового крана:

1 - электродвигатель, 2 - муфта зубчатая, 3 - промежуточный вал, 4 - тормоз, 5 - редуктор, 6 - канатный барабан, 7 - верхние блоки, 8 - уравнительный балансир, 9 - канат, 10 - крюковая подвеска.

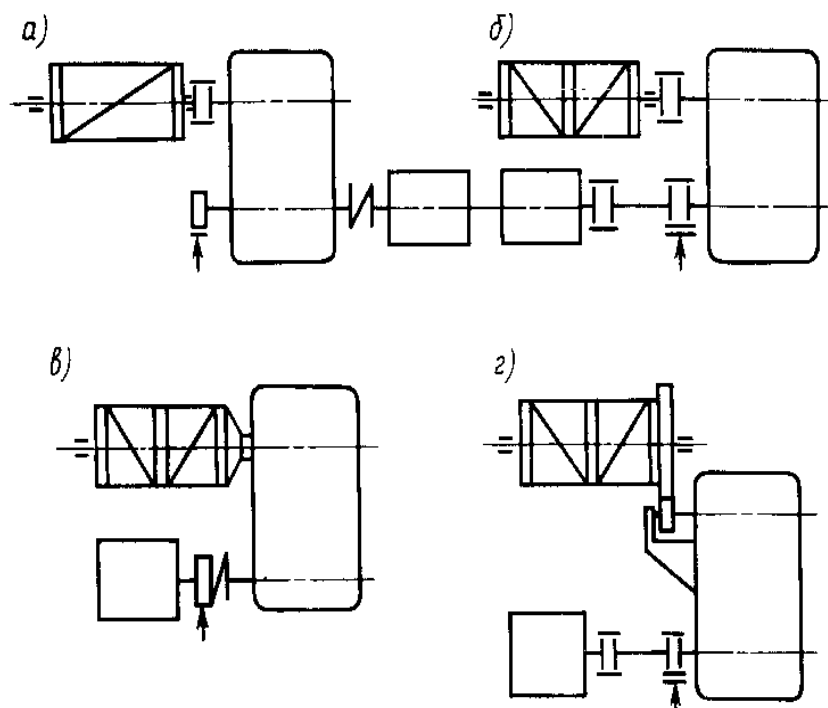


Рис. 2.2. Компонировочные схемы механизма подъема груза.

Кроме того, увеличивают габариты и большие размеры соединительных муфт. Лебедка становится значительно компактнее при расположении барабана и двигателя с одной стороны редуктора (рис. 2.2, б). Наилучшие показатели по габариту имеет конструкция лебедки с установкой одной из опор оси барабана внутри консоли тихоходного вала редуктора (рис. 2.2, в). В кранах с большой грузоподъемностью при небольших скоростях подъема передаточное число подъемной лебедки оказывается достаточно большим. В этом случае применяется механизм с открытой тихоходной зубчатой передачей (рис. 2.2, г).

2.3. Выбор крюковой подвески

Крюковые подвески бывают с однорогим и двурогим крюком. Если кран предназначен для работы с длинномерными грузами целесообразно выбрать с двурогим крюком. Типы крюковых подвесок приведены в прилож. 1.

Условия выбора:

- грузоподъемность подвески должна соответствовать номинальной грузоподъемности крана;

- режим работы крюковой подвески должен соответствовать режиму работы механизма.

После выбора подвески необходимо выписать: типоразмер, грузоподъемность (Q_{Π}), режим работы, число блоков (z_{Π}), диаметр каната ($d_{кп}$), диаметр блоков по дну канавки ($D_{бл}$) расстояния между блоками, массу подвески (m_{Π}).

2.4. Выбор каната

Типоразмеры стальных канатов приведены в прилож. 2.

Определение максимального статического усилия S_{\max} (Н) в канате

$$S_{\max} = \frac{G_H + G_{\Pi}}{z \cdot u_n \cdot \eta_n \cdot \eta_{н.бл}}, \quad (2.1)$$

где G_H - вес номинального груза, Н;

G_{Π} - вес крюковой подвески, Н;

η_n - коэффициент полезного действия (КПД) полиспаста, табл. 2.2;

$\eta_{н.бл}$ - КПД направляющих блоков (стреловые, некоторые козловые краны), $\eta_{н.бл} = \eta_{бл}^n$;

$\eta_{бл}$ - КПД блока, принимается 0,98;

n - число направляющих блоков.

Таблица 2.2.

КПД полиспастов							
u_g	2	3	4	5	6	7	8
η_n	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90

Условия выбора каната:

- тип каната должен соответствовать условиям работы и виду грузоподъемной машины (прилож. 2);

$$S_{\max} \cdot k_{зан} \leq S_{разр}, \quad (2.2)$$

где $S_{\text{разр}}$ - разрывное усилие каната, Н (см. прилож. 2);

$k_{\text{зап}}$ - коэффициент запаса прочности, назначаемый ГТН в зависимости от групп режимов работы механизма (табл. 2.3);

- диаметр каната подвески должен соответствовать выбранному диаметру;

$$D_{\text{бл}} \geq d_{\text{к}} \cdot e, \quad (2.3)$$

где $d_{\text{к}}$ - диаметр каната, мм;

e - коэффициент, регламентированный нормами ГТН, приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.3.

Коэффициент запаса

Группа режима работы по ГОСТ 25835-83	$k_{\text{зап}}$
1М, 2М, 3М	5,0
4М	5,5
5М, 6М	6,0

Таблица 2.4.

Значения e

Тип машины	Группа режима работы	e
ГПМ всех типов, за исключением стреловых кранов, электроталей и лебедок	1М, 2М, 3М	20
	4М	25
	5М	30
	6М	35
Лебедки и электротали	Все группы	20

Если условия не выполняются, то необходимо выбрать другой канат.

После выбора каната следует выписать: условное обозначение типоразмера, разрывное усилие и маркировочную группу, диаметр, направление свивки, массу 1000 м смазанного каната.

2.5. Определение основных размеров канатного барабана

На рис. 2.3 приведены возможные варианты установки барабана.

Диаметр барабана по средней линии навитого каната

$$D_{\text{б}} = (0,85...1,0) \cdot D_{\text{бл}}. \quad (2.4)$$

Диаметр барабана по дну канавки

$$D_{\delta o} = D_{\delta} - d_{\kappa}, \quad (2.5)$$

Полученное $D_{\delta o}$ следует округлить в большую сторону до стандартного значения из нормального ряда диаметров: 160, 200, 250, 320, 400, 450, 500, 630, 710, 800, 900, 1000 мм.

Значение D_{δ} необходимо привести в соответствие с $D_{\delta o}$

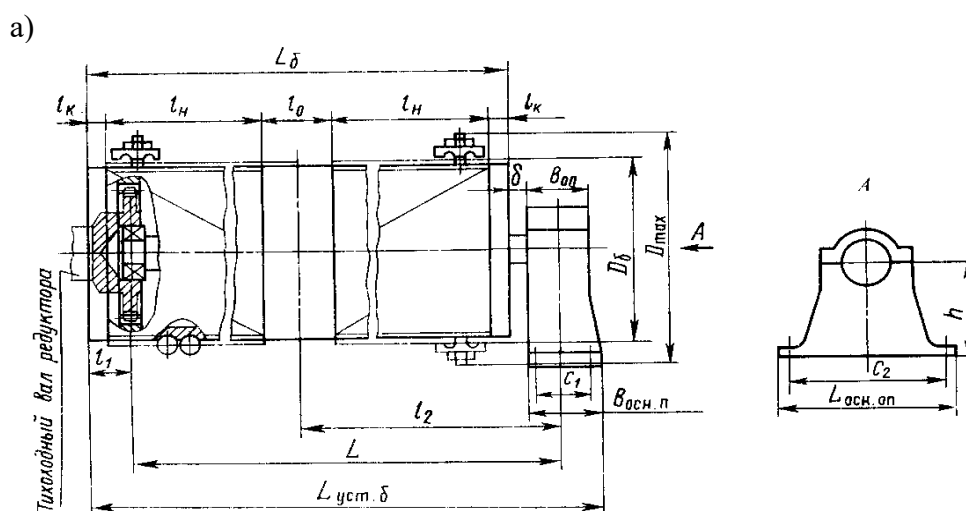
Диаметр максимальной окружности, учитываемый при компоновке механизма

$$D_{\max} = (1,1..1,3) \cdot D_{\delta}, \quad (2.6)$$

Длина барабана, изображенного на рис. 2.3, а)

$$L_{\delta} = 2l_H + l_0 + 2l_K, \quad (2.7)$$

где l_H - длина одного нарезного участка, мм;
 l_0 - длина гладкого среднего участка, мм;
 l_K - длина одного гладкого концевой участка, мм.



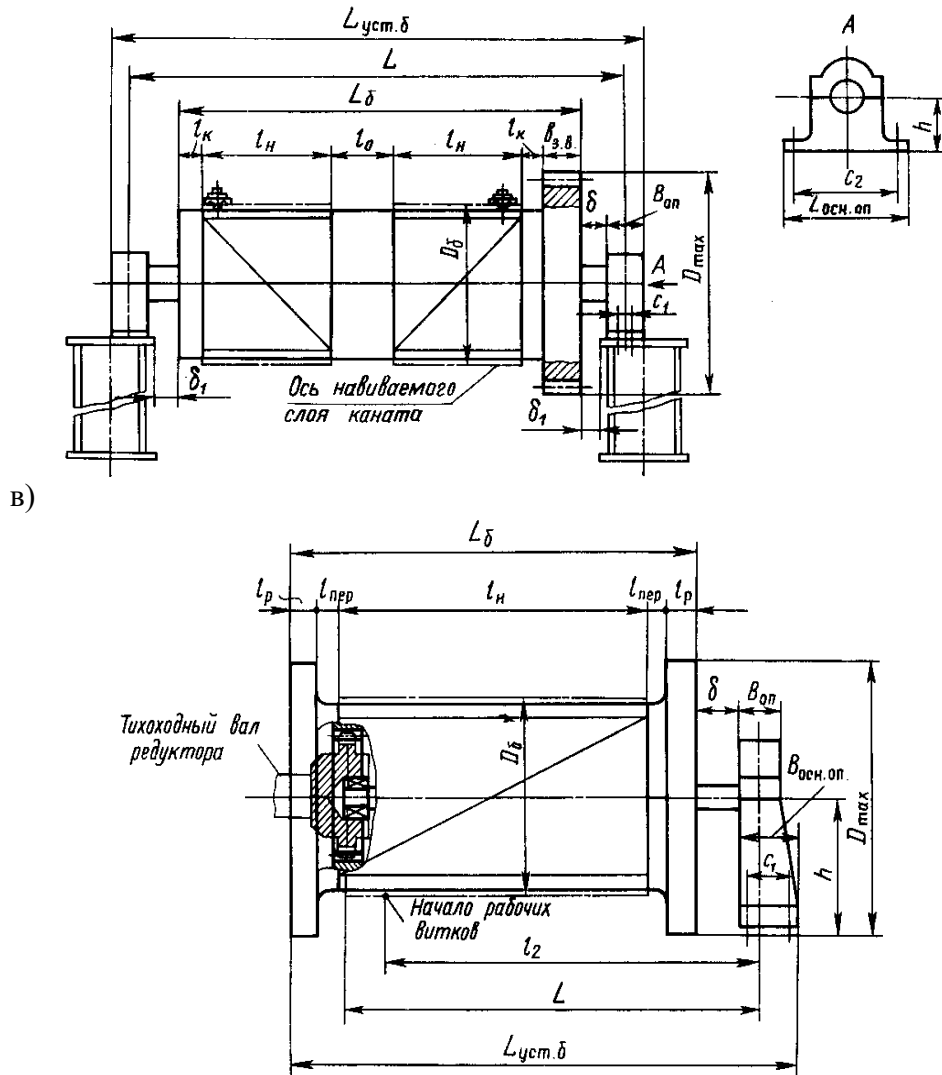


Рис. 2.3. Установки барабана: а) - для сдвоенного полиспаста, б) - для одинарного полиспаста с зубчатым венцом, в) - для одинарного полиспаста.

Длина одного нарезного участка

$$l_H = t \cdot (Z_P + Z_H + Z_{KP}), \quad (2.8)$$

где t - шаг нарезки, принимается в зависимости от диаметра каната, мм (прилож. 3);

Z_H - число неприкосновенных витков для разгрузки деталей крепления каната, согласно Правил ГГТН $Z_H=1,5$;

Z_{KP} - число витков для крепления концов каната, принимается $Z_{KP}=3...4$;

Z_P - число рабочих витков для навивки половины полной длины каната,

$$Z_P = \frac{H \cdot u_n}{\pi \cdot D_{\delta}}, \quad (2.9)$$

где H - высота подъема крюка, мм.

Длина гладкого среднего участка

$$l_0 = 3 \cdot D_{\delta} \cdot \operatorname{tg}[\gamma] + B_H, \quad (2.10)$$

где B_H - расстояние между осями крайних блоков крюковой подвески, мм;

$[\gamma]$ - допускаемый угол отклонения каната от оси ручья блока, $[\gamma]=6^{\circ}$.

Длина гладкого концевой участка

$$l_R = (4..5) \cdot d_{\kappa}. \quad (2.11)$$

Высота оси барабана относительно основания внешней опоры

$$h = (0,3..0,6) \cdot D_{\delta} - \text{рис. 2.3, а), в);} \quad (2.12)$$

$$h = (0,2..0,3) \cdot D_{\delta} - \text{рис. 2.3, б).}$$

Расстояние между присоединительными отверстиями опор

$$c_1 = (0,2..0,3) \cdot B_{\text{осн.оп}}, \quad (2.13)$$

$$c_2 = (0,5..0,8) \cdot L_{\text{осн.оп}},$$

где $B_{\text{осн.оп}}$ - ширина основания опоры, мм;

$L_{\text{осн.оп}}$ - длина основания опоры, мм.

Толщина цилиндрической стенки барабана (рис. 2.4) определяется по формуле

$$\delta = \frac{\alpha \cdot n \cdot S_{\max}}{[\sigma]_{\text{сж}} \cdot t}, \quad (2.14)$$

где α - коэффициент снижения нагрузки под влиянием деформаций каната и стенки барабана, для однослойной навивки каната $\alpha = 1$, для двухслойной навивки $\alpha = 0,7$;

n - число слоев навивки каната;

$[\sigma]_{\text{сж}}$ - допускаемое напряжение сжатия, МПа (табл. 2.5).

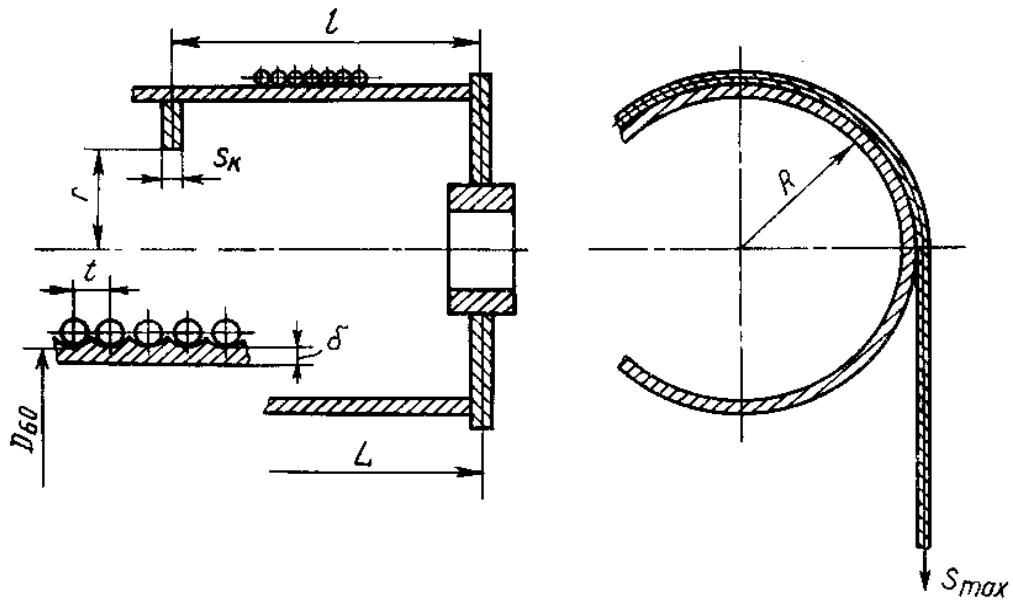


Рис. 2.4. Цилиндрическая стенка барабана.

Таблица 2.5.

Допускаемое напряжение сжатия

Материал	Предел текучести σ_T , МПа	Предел прочности σ_e , МПа	[σ] _{сж} , МПа, в зависимости от группы режима работы по СТ СЭВ 2077-80				
			1	2	3	4, 5	6
ВСтЗсп	245,0	-	196,1	166,7	147,1	127,5	107,9
20	245,2	-	205,9	176,5	156,9	137,3	117,7
09Г2С	304,0	-	255,0	220,6	191,2	161,8	137,3
15ХСНД	343,2	-	274,6	235,4	205,9	171,6	147,1
35Л	274,6	-	225,6	205,9	166,7	137,3	117,1
55Л	343,2	-	255,0	225,6	196,1	161,8	137,3
СЧ15	-	313,8	107,9	98,1	88,3	-	-
СЧ18	-	353,0	127,5	112,8	98,1	88,3	-
СЧ24	-	431,5	166,7	147,1	127,5	112,8	98,1

2.6. Выбор электродвигателя

Максимальная статическая мощность $P_{СТ}$ (кВт), которую должен иметь механизм в период установившегося движения

$$P_{СТ} = \frac{(G_H + G_{II}) \cdot V_{II}}{10^3 \cdot \eta_{np}}, \quad (2.15)$$

где η_{np} - предварительное значение КПД привода механизма, принимается $\eta_{np}=0,8...0,85$.

В крановых механизмах целесообразно использовать двигатели следующих серий: МТФ, МТН, 4МТН, МТКН, МТКФ, Д, 4А (прилож. 4). Из них наибольшее применение получили серии МТФ, МТН, 4МТН. Серия МТН отличается более высоким классом нагревостойкости изоляции по сравнению с серией МТФ. Поэтому двигатели серии МТФ рекомендуется использовать только при легком режиме работы. При группах режимов работы 1М...3М разрешается использовать асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором общепромышленной серии 4А. При весьма тяжелом режиме работы рекомендуется использовать двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением серии Д.

При выборе типа двигателя необходимо выполнить два условия:

- $P_{ДВ}=P_{Мех}$;
- $P_{ДВ}=(0,7...0,8)P_{Ст}$.

Выбранный электродвигатель необходимо проверить на тепловые нагрузки. Мощность двигателя по тепловым нагрузкам

$$P_{H,мен} = \frac{k_3 \cdot k_{эkv} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{ном}}}}{k_0} \cdot \frac{\eta_{эkv,б}}{\eta_{эkv,б} - k_д \cdot (\eta_{эkv,б} - \eta_{эkv})} \cdot P_c, \quad (2.16)$$

где $\varepsilon_p, \varepsilon_{ном}$ - соответственно, фактическая и номинальная продолжительность включения электропривода (табл. 2.6);

$k_{эkv}$ - номинальный коэффициент (табл. 2.6);

k_3 - коэффициент, учитывающий запас мощности при проектировании электропривода, исходя из требований надежности (табл. 2.6);

$k_д$ - коэффициент динамичности (табл. 2.7);

k_0 - коэффициент, учитывающий изменение допустимой мощности потерь (рис. 2.5);

$\eta_{эkv,б}$ - базовый КПД (табл. 2.7);

$\eta_{эkv}$ - эквивалентный КПД,

$$\eta_{эkv} = \frac{\eta_{эkv,б}}{1 + \frac{\eta_{эkv,б} - \eta_{эkv,N}}{\eta_{эkv,N}} \cdot \frac{J_{общ}}{1,2J_{дв}} \left(\frac{n_{max}}{1000} \right)^2}, \quad (2.17)$$

$\eta_{эkv,N}$ - эквивалентный КПД, определяемый по графикам рис. 2.6;

n_{max} - синхронная частота вращения двигателя, мин⁻¹;

$J_{дв}$ - момент инерции двигателя, кг·м²;

$J_{общ}$ - суммарный момент инерции, кг·м²,

$$J_{общ} = 1,2J_{дв} + \frac{91 + Q_H \cdot V_{II}^2}{n_{дв}^2}, \quad (2.18)$$

Q_H - масса номинального груза, кг;

$n_{дв}$ - частота вращения вала двигателя, мин⁻¹.

После выбора электродвигателя необходимо выписать условное обозначение, номинальную мощность, относительную продолжительность включения, частоту вращения, момент инерции ротора или якоря, диаметр конца вала, массу, максимальный момент.

Таблица 2.6.

Параметры режимов работы

Группы режимов работы	Параметры режимов работы		
	ε_p	$k_{эkv}$	k_3
1М, 2М	0,15	0,63	1
3М	0,25	0,63	1
4М	0,4	0,63-0,75	1
5М	0,4	0,75-0,8	1
6М	0,6	0,8	1,15-1,25

Таблица 2.7.

Значения $\eta_{эkv,б}$ и кд для различных систем электропривода

Система электропривода	$\eta_{эkv,б}$	кд
Асинхронный электропривод: двухскоростной при 2р=4/24	0,83	4

односкоростной при $2p=6$	0,81	4
с фазным ротором при торможении противовключением	0,76	1,25
с фазным ротором при динамическом торможении	0,81	1,25
двухскоростной при $2p=4/6$ с неполной зоной частотного управления	0,9	1,25
односкоростной в системе частотного управления	0,94	1,25
Тиристорный электропривод постоянного тока	0,94	1,25
Электропривод постоянного тока с параметрическим регулированием	0,81	1,25

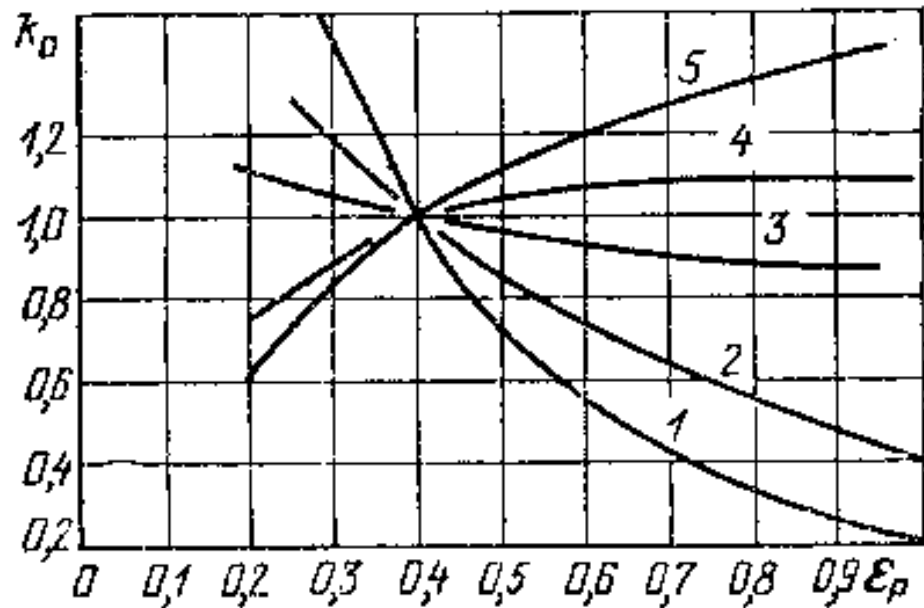


Рис. 2.5. Зависимость $k_0=f(\varepsilon_p)$ для крановых двигателей: 1 - невентилируемые асинхронные; 2 - постоянного тока; 3 и 4 - вентилируемые, соответственно, тихоходные и быстроходные; 5 - вентилируемые быстроходные короткозамкнутые.

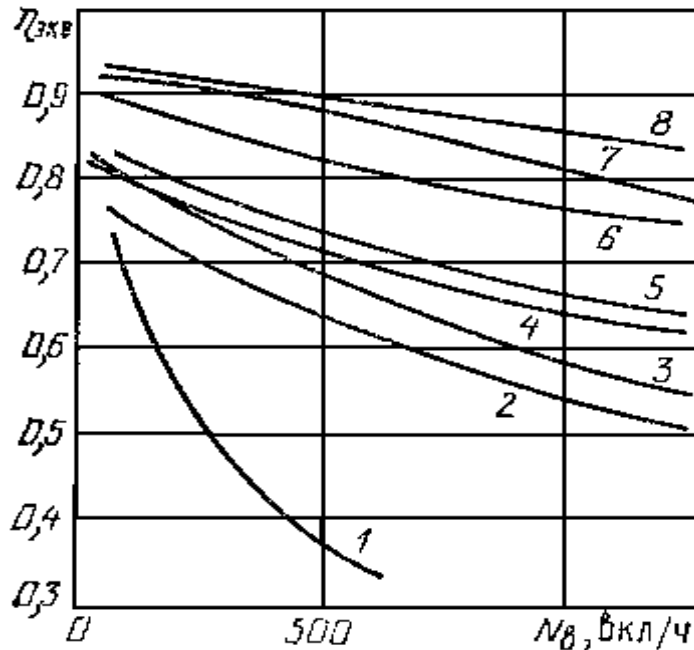


Рис. 2.6. Значения эквивалентного КПД для различных электроприводов: 1 - двухскоростной короткозамкнутый двигатель при $2p=4/24$; 2 - параметрическое регулирование двигателей с фазным ротором и торможением противовключением; 3 - трехскоростные короткозамкнутые двигатели при $2p=4/8/24$; 4 - параметрическое регулирование двигателей постоянного тока, короткозамкнутых двигателей с $2p=6$ и двигателей с фазным ротором при динамическом торможении; 5 - трехскоростные короткозамкнутые двигатели при $2p=6/12/24$; 6 - с ограниченной зоной частотного управления двухскоростных короткозамкнутых двигателей; 7 - тиристорный привод постоянного тока; 8 - частотно-управляемые односкоростные короткозамкнутые двигатели.

2.7. Выбор редуктора

В механизмах подъема груза могут использоваться следующие типы цилиндрических редукторов Ц2У, Ц2Н, ЦДНД, ЦДН, Ц2, РК, РМ. Технические данные редукторов приведены в прилож. 5.

Условия выбора:

- расчетный эквивалентный момент $M_{p.э.}$ не должен превышать номинальный крутящий момент на тихоходном валу $M_{p.н.}$ по паспорту редуктора

$$M_{p.э.} \leq M_{p.н.}, \quad (2.19)$$

$$M_{p.э.} = k_D \cdot M_p, \quad (2.20)$$

где M_p - расчетный крутящий момент на тихоходном валу редуктора при подъеме номинального груза, Н·м;

k_D - коэффициент долговечности,

$$k_D = \sqrt[3]{K} \cdot \sqrt{\frac{Z_P}{Z_0}}, \quad (2.21)$$

K - коэффициент нагружения (см. п. 1.2.1);

Z_0 - базовое число циклов контактных напряжений, для типовых редукторов $Z_0=125 \cdot 10^6$;

Z_P - суммарное число циклов контактных напряжений зуба шестерни тихоходной ступени редуктора,

$$Z_P = u_T \cdot 60 \cdot n_T \cdot t_{\text{маш}}, \quad (2.22)$$

u_T - передаточное число тихоходной ступени редуктора, допускается принять среднее значение $u_T = 5$;

n_T - частота вращения тихоходного вала редуктора, мин^{-1} ;

$t_{\text{маш}}$ - время работы механизма, ч (см. табл. 1.2);

- передаточное число редуктора u_p не должно отличаться от требуемого передаточного числа $u_{p, \text{ТР}}$ более чем на 15%.

Если последнее условие не выполняется, можно идти следующими путями:

- выбрать другой тип редуктора с большим передаточным числом;
- выбрать другой электродвигатель, изменив частоту вращения его вала (после этого повторить все расчеты);
- пересмотреть диаметр барабана (после этого повторить все расчеты);
- ввести открытую зубчатую передачу.

После выбора редуктора необходимо выписать: условное обозначение типоразмера, номинальный крутящий момент на тихоходном валу, передаточное число, диаметры концов быстроходного и тихоходного валов, номинальную радиальную нагрузку на конец тихоходного вала, массу.

2.8. Выбор тормоза

Выбор тормоза осуществляют по тормозному моменту

$$M_{T.P} = k_T \cdot M_{CT.T}, \quad (2.23)$$

где k_T - коэффициент запаса торможения, назначаемый Правилами ГТН в зависимости от режима работы механизма (табл. 2.8);

$M_{CT.T}$ - статический крутящий момент при торможении, создаваемый весом номинального груза на валу, на котором установлен тормоз, Н·м:

$$M_{CT.T} = \frac{(G_H + G_{II}) \cdot D_{\delta} \cdot \eta_{мех}}{2 \cdot u_{мех}}, \quad (2.24)$$

где $u_{мех}$ - полное передаточное число механизма, включая передаточное число полиспаста (при установке тормоза на быстроходном валу);

$\eta_{мех}$ - КПД механизма.

Таблица 2.8.

Коэффициент запаса торможения

Группа режимов работы	Коэффициент запаса торможения, кг	
	один тормоз	два тормоза
1М, 2М, 3М	1,5	1,25
4М	1,75	1,25
5М	2,0	1,25
6М	2,25	1,25

Примечание: если применяются два тормоза и более, то запас торможения устанавливается в предположении, что весь груз удерживается одним тормозом.

В механизмах подъема груза используются нормально замкнутые тормоза с электромагнитным или электрогидравлическим приводом типов ТКТ, ТКП, ТКГ, ТКТГ. Для режимов работы 4М, 5М, 6М рекомендуется применять тормоза с электрогидравлическим толкателем типа ТКГ.

Выбранный тормоз должен удовлетворять двум условиям:

- $M_{T.H} \geq M_{T.P}$;

- относительная продолжительность включения катушки электромагнита должна соответствовать группе режима работы механизма.

После выбора тормоза необходимо проверить наличие зазора между ним и барабаном, а также выписать условное обозначение типоразмера, номинальный тормозной момент, требуемый диаметр тормозного шкива, ширину колодок, массу.

2.9. Выбор муфт

Наибольшее распространение в крановых механизмах получили зубчатые и упругие втулочно-пальцевые муфты.

Для всех выбираемых муфт должно выполняться условие

$$M_P = k_3 \cdot M_K \leq [M_K], \quad (2.25)$$

где M_P - расчетный крутящий момент, Н·м;

k_3 - коэффициент запаса прочности, принимается $k_3 = 1,3 \dots 2,0$;

M_K - действующий крутящий момент, Н·м;

$[M_K]$ - допускаемый крутящий момент, который способна передать муфта, Н·м.

Зубчатые муфты обладают высокой нагрузочной способностью, их можно использовать в широком диапазоне угловых скоростей и передаваемых моментов. Параметры зубчатых муфт общего назначения для передачи крутящего момента от 1000 до 25 000 Н·м приведены в прилож. 7. Также имеются специальные зубчатые муфты для соединения редукторов с барабанами.

Упругие втулочно-пальцевые муфты способны компенсировать незначительные погрешности взаимного расположения соединяемых валов и смягчить динамические нагрузки. Эти муфты широко используют в местах установки тормозов. В прилож. 7 приведены характеристики наиболее употребительных типоразмеров упругих втулочно-пальцевых муфт с тормозными шкивами. При использовании одной из полумуфт в качестве тормозного шкива должны выполняться условия:

- диаметр обода полумуфты должен быть равен необходимому диаметру тормозного шкива;

- ширина обода полумуфты должна быть на 5 мм больше ширины колодки тормоза.

После выбора муфты необходимо выписать условное обозначение типоразмера, крутящий момент, основные геометрические параметры, момент инерции, массу.

2.10. Проверка двигателя на время разгона и торможения

Двигатель должен разгонять механизм за достаточно короткое время, иначе уменьшится производительность крана. С другой стороны, если оно будет слишком мало, то разгон будет сопровождаться большим ускорением, что скажется на прочности элементов, устойчивости груза и т.д.

Время разгона двигателя принимают в диапазоне 1..4 с. ВНИИПТ-МАШем рекомендуется для различных механизмов кранов грузоподъемностью до 75 т использовать значения времени разгона, приведенных на графиках рис. 2.7.

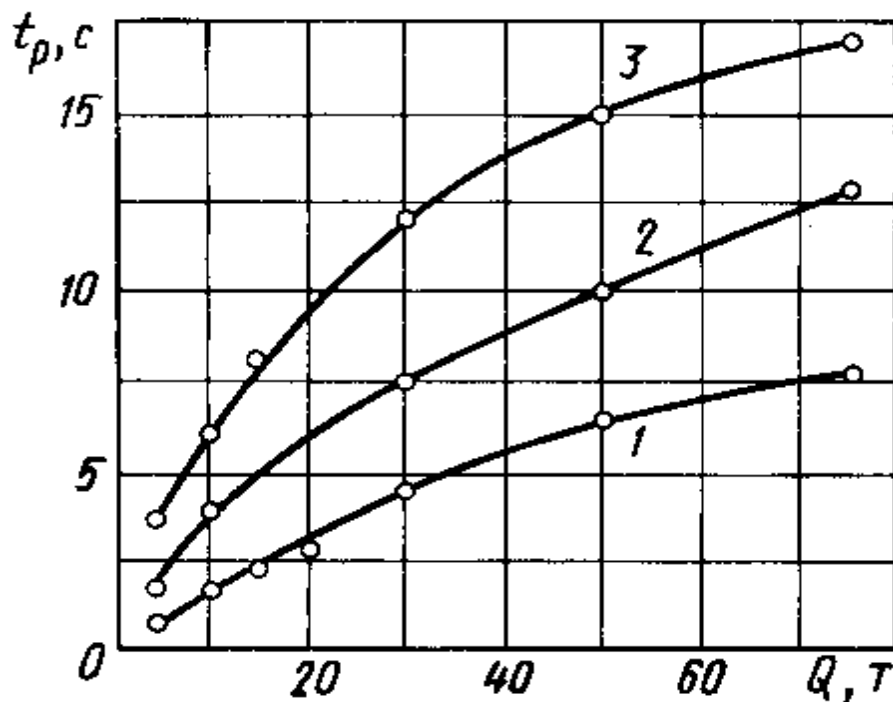


Рис. 2.7. Время разгона двигателей: 1- механизм подъема, 2- механизм передвижения тележки, 3- механизм передвижения крана.
Фактическое время разгона двигателя

$$t_{p.\phi} = \frac{\omega_{\text{дв}} \cdot J_{\text{мех}}}{M_{\text{п.ср}} - M_{\text{ст.п}}}, \quad (2.26)$$

где $\omega_{\text{дв}}$ - угловая скорость двигателя, рад/с;

$J_{\text{мех}}$ - приведенный к валу двигателя момент инерции при разгоне всех движущихся частей механизма, кг·м²;

$M_{\text{п.ср}}$ - среднепусковой момент двигателя, Н·м;

$M_{\text{ст.п}}$ - момент статических сопротивлений при разгоне, приведенный к валу двигателя, Н·м.

Значения $M_{\text{п.ср}}$ определяют по формуле

$$M_{\text{п.ср}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \psi_{\text{п.ср}}, \quad (2.27)$$

где $M_{\text{дв.н}}$ - номинальный момент двигателя, Н·м;

$\psi_{\text{п.ср}}$ - кратность среднепускового момента двигателя (табл. 2.9).

Таблица 2.9.

Значения $\psi_{\text{п.ср}}$

Тип двигателя	$\psi_{\text{п.ср}}$
Асинхронный с фазным ротором	1,5...1,6
С короткозамкнутым ротором	
МТКФ	1,3...2,6
МТКН	1,6...2,4
Постоянного тока с последовательным возбуждением	1,8...2,0

Момент инерции механизма

$$J_{\text{мех}} = \gamma (J_{\text{дв}} + J_{\text{м}} + J_{\text{Т.Ш}}) + J_{\text{пост}}, \quad (2.28)$$

где γ - коэффициент учета инерции вращающихся масс, $\gamma = 1,1 \dots 1,2$;

$J_{\text{дв}}$, $J_{\text{м}}$, $J_{\text{Т.Ш}}$ - соответственно, моменты инерции ротора (якоря) двигателя, муфты, тормозного шкива, кг·м²;

$J_{\text{пост}}$ - момент инерции при разгоне поступательно движущихся частей механизма и груза, приведенный к валу двигателя, кг·м²,

$$J_{\text{пост}} = \frac{(m_{\text{гр}} + m_{\text{н}}) \cdot r_{\text{б}}^2}{u_{\text{мех}}^2 \cdot \eta_{\text{мех}}}, \quad (2.29)$$

где $m_{\text{гр}}$ - масса номинального груза, кг;

$m_{\text{п}}$ - масса крюковой подвески, кг;

$r_{\text{б}}$ - радиус барабана по оси каната, м.

Значение $M_{\text{ст.р}}$ определяют по формуле

$$M_{\text{ст.р}} = \frac{(G_{\text{н}} + G_{\text{п}}) \cdot r_{\text{б}}}{u_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{мех}}}, \quad (2.30)$$

Если время разгона окажется существенно больше рекомендуемых значений, необходимо выбрать другой, более мощный двигатель той же относительной продолжительности включения и той же или близкой частоты вращения.

Определение времени торможения при подъеме не имеет большого значения, так как оно в меньшей степени влияет на производительность. Если время торможения при опускании груза окажется больше рекомендуемого времени разгона, то тормоз необходимо отрегулировать на больший тормозной момент.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

3.1. Исходные данные

Исходными данными являются:

- номинальная грузоподъемность - $Q_{\text{н}}$, т;
- масса крюковой подвески - $Q_{\text{п}}$, т;
- скорость передвижения тележки (крана) - $V_{\text{т}}$ ($V_{\text{к}}$), м/с;
- пролет крана - L , м;
- группа режима работы механизма;
- условия работы крана (в помещении или на открытом воздухе).

3.2. Выбор кинематической схемы

Механизмы передвижения тележек двухбалочных мостовых и козловых кранов имеют центральный привод. Число ходовых колес зависит от грузоподъемности. При грузоподъемности до 160 т можно принять четыре колеса, при большей грузоподъемности - восемь. Рекомендуемое число ходовых колес крана приводится в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Рекомендуемое число ходовых колес крана

Грузоподъемность механизма главного подъема, т	До 80	80...100	100...160	Больше 160
Число ходовых колес	4	8	8; 16	16

Пример кинематической схемы механизма передвижения тележки приведен на рис. 3.1.

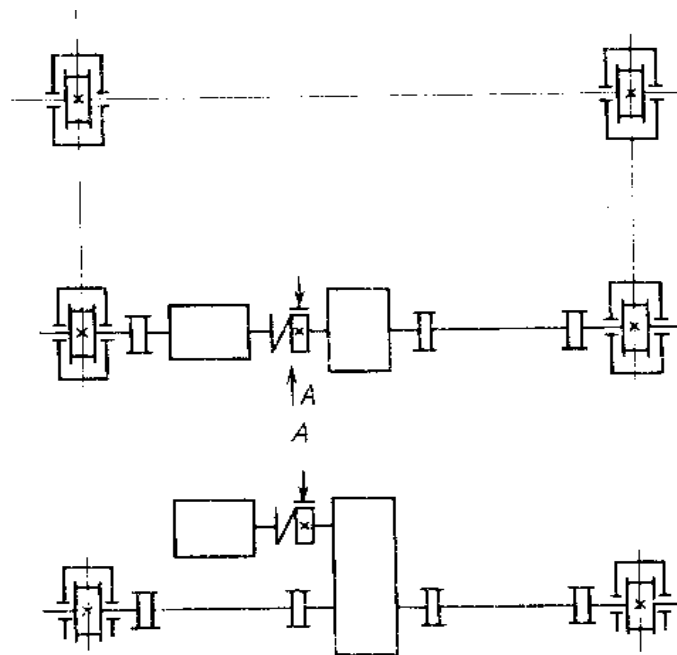


Рис. 3.1. Кинематическая схема механизма передвижения тележки

Достоинства схемы рис. 3.1 в том, что обе половины трансмиссионного вала закручиваются на одинаковый угол, что способствует одновременному началу движения приводных колес и ликвидации перекосов. Также встречаются схемы с боковым расположением редуктора, достоинство этой схемы - удобство монтажа.

Механизм передвижения мостового крана может быть с центральным (рис. 3.2) и раздельным (рис. 3.3) приводом. Центральный привод рекомендуется использовать при пролете крана менее 16 м.

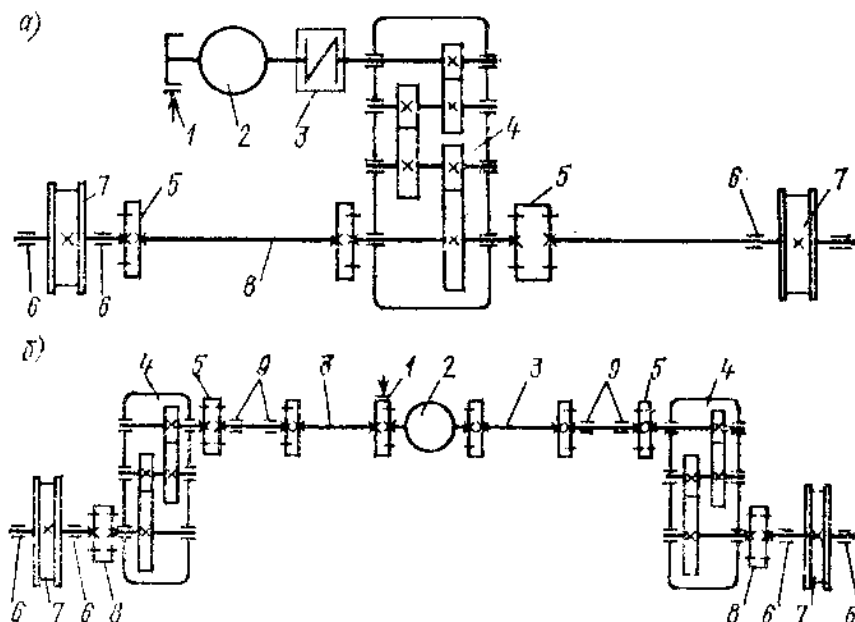


Рис. 3.2. Схемы механизмов передвижения мостовых кранов с центральным приводом и валом: а - тихоходным, б - быстроходным: 1 - тормоз, 2 - двигатель, 3 - вал-вставка или упругая муфта, 4 - редуктор, 5 - зубчатая муфта, 6 - опоры, 7 - ходовое колесо, 8 - вал-вставка или зубчатая муфта, 9 - опоры быстроходного вала.

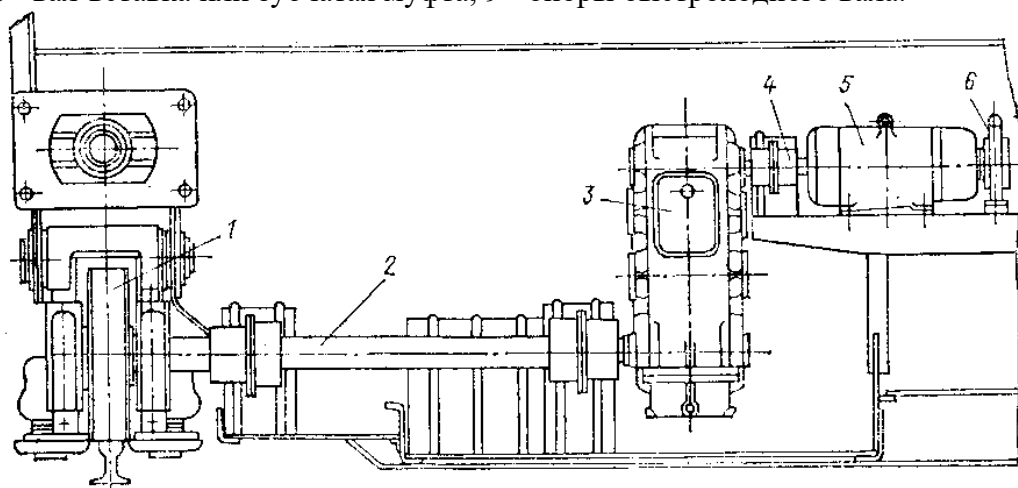


Рис. 3.3. Схема механизма передвижения мостовых кранов с раздельным приводом: 1 - колесо с угловыми буксами; 2 - вал - вставка с одновенцовыми зубчатыми муфтами; 3 - вертикальный редуктор; 4 - двухвенцовая зубчатая муфта; 5 - двигатель; 6 - тормоз.

На рис. 3.4. представлены схемы приводных балансирных тележек козловых, башенных и порталных кранов. Один из вариантов механизма передвижения порталного крана приведен на рис. 3.5.

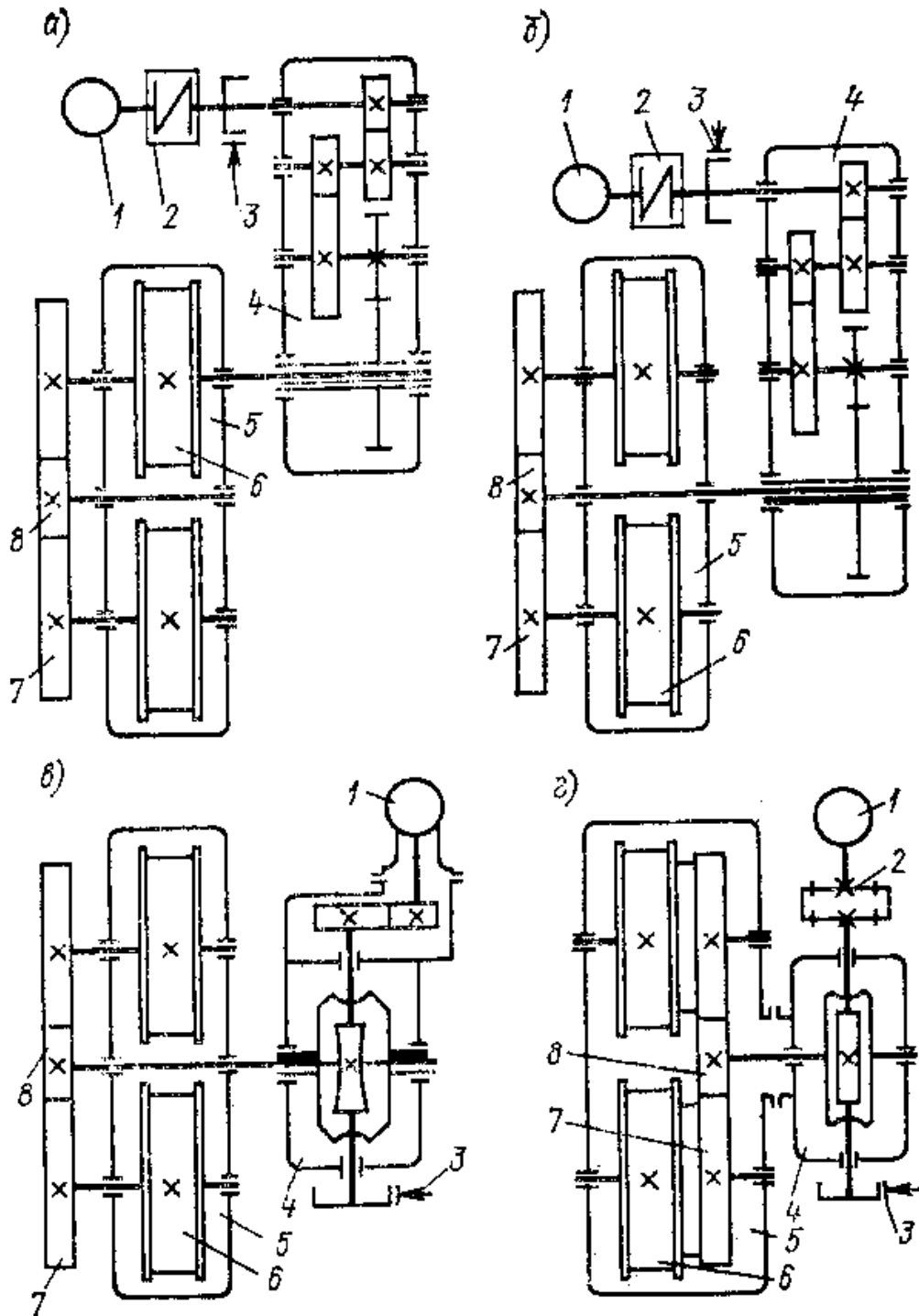


Рис. 3.4. Схемы приводных балансирных тележек кранов: а, б - козловых, в - башенных, г - порталного: 1 - двигатель, 2 - упругая втулочно-пальцевая муфта (а, б) или двухвенцовая зубчатая муфта (г), 3 - тормоз, 4 - редуктор, 5 - рама балансира, 6 - ходовое колесо, 7 и 8 - колесо и шестерня открытой зубчатой передачи.

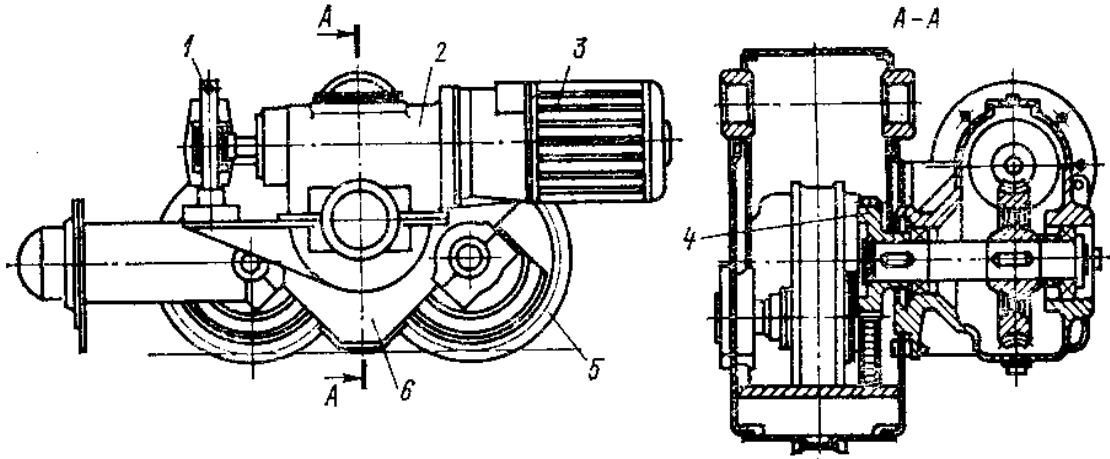


Рис. 3.5. Приводная тележка портального крана: 1 - тормоз, 2 - червячный редуктор, 3 - двигатель, 4 - шестерня открытой зубчатой передачи, 5 - колесо, 6 - рама балансира.

3.3. Определение статического сопротивления передвижению

$$W_C = W_{TP} + W_Y + W_{ИН} + W_{ГИБ} + W_B, \quad (3.1)$$

где W_C - статическое сопротивление передвижению, Н;

W_{TP} - сопротивление, создаваемое силами трения;

W_Y - сопротивление, создаваемое уклоном подтележечного или подкранового пути;

$W_{ИН}$ - сопротивление, создаваемое силами инерции;

$W_{ГИБ}$ - сопротивление от раскачивания груза на гибкой подвеске;

W_B - сопротивление, создаваемое ветром.

Сопротивление, создаваемое силами трения

$$W_{TP} = (G + G_K) \frac{\mu_u d_u + 2f}{D_K}, \quad (3.2)$$

где G - вес груза с грузозахватным устройством, Н;

G_K - вес крана или тележки, ориентировочно можно принять из табл. 3.2;

D_K - диаметр ходового колеса, мм (табл. 3.3); основные размеры крановых колес и рельсов приведены в прилож. 8;

$d_{ц}$ - диаметр цапфы колеса, мм, ориентировочно можно принять при $D_K=200..400$ мм $D_K/d_{ц} = 4..6$; при $D_K=500..1000$ мм $D_K/d_{ц} = 6..8$;

$\mu_{ц}$ - коэффициент трения подшипников, приведенный к цапфе колеса, принимается по табл. 3.4;

Таблица 3.2.

Формулы для предварительного определения масс кранов и крановых тележек

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

Таблица 3.3.

Рекомендуемый диаметр колес

Максимальная статическая нагрузка на колесо, кН	Диаметр колеса, мм	Типоразмер рельса с выпуклой головкой ГОСТ 4121-76
30..50	200, 250	КР 70 (400)
100..200	400, 500	КР 70 (400)
200..250	500, 560, 630	КР 70 (400), КР 80 (400)
250..320	630, 710	КР 80 (400), КР 100 (450)
320..500	710, 800	КР 80 (400), КР 100 (450)
500..800	800, 900, 1000	КР 100 (450), КР 120 (500)
800..1000	900, 1000	КР 120 (500), КР 140 (700)

Примечание: в скобках приведены значения радиуса закругления головки рельса R, мм

f - коэффициент трения качения стального колеса по рельсу, принимается по табл. 3.5;

K_p - коэффициент, учитывающий трение реборд и ступиц колес, принимается по табл. 3.6.

Таблица 3.4.

Значение коэффициента трения μ подшипников скольжения и качения

Подшипник	Смазка		
	отсутствует	густая	жидкая в масляной ванне (редукторы)
Скольжения: сталь по стали сталь по чугуну сталь по бронзе	0,14..0,16 0,11..0,13 0,1	0,09..0,11 0,07..0,09 0,06..0,08	0,04..0,06
Качения: шариковые роликовые игольчатые		0,01..0,015 0,015..0,02 0,05..0,07	

Таблица 3.5.

Коэффициент трения качения f , мм, стальных колес по рельсам

Головка рельса	Диаметр ходового колеса, мм				
	200, 250, 320	400, 500 560, 600	710	800, 900	1000
Плоская	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7
Скругленная	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2

Таблица 3.6.

Коэффициент K_p , учитывающий трение реборд и ступиц колес

Механизм передвижения	Обод ходовых колес	Привод механизма	K_p	Примечание
Кранов опорных	Конический	Центральный	1,2	
		Раздельный	1,1	
	Цилиндрический	Центральный	1,5	
		Раздельный	1,1	С боковыми направляющими роликами
	Цилиндрический без реборд	Центральный	1,1	
		Раздельный	1,1	Токподвод с по-

Крановых тележек	Цилиндрический	Центральный	2,5	мощью троллеев
			2,0	Токоподвод с помощью гибкого кабеля

В однорельсовых (консольных передвижных) кранах и консольных тележках с горизонтальными колесами сопротивление от сил трения определяется по формуле

$$W_{TP} = (G + G_K) \frac{\mu_y d_y + 2f}{D_K} + H_1 \frac{\mu_1 d_1 + 2f}{D_1} + H_2 \frac{\mu_2 d_2 + 2f}{D_2}, \quad (3.3)$$

где D_1 , D_2 и d_1 , d_2 - соответственно, диаметры горизонтальных нижних и верхних колес и их цапф, мм;

H_1 , H_2 - горизонтальные нагрузки на опоры, Н.

Сопротивление движению от уклона пути

$$W_Y = (G + G_K) \cdot i, \quad (3.4)$$

где i - коэффициент, учитывающий уклон путей, принимают равным: для мостовых кранов - 0,001; козловых, порталных - 0,003; строительных башенных - 0,005; тележек на мосту крана - 0,002.

Сопротивление, создаваемое силами трения

$$W_{ИН} = 10^3 \cdot \delta \cdot m_{пост} \cdot a, \quad (3.5)$$

где δ - коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей механизма (при скорости передвижения менее 1 м/с - 1,25; более 1 м/с - 1,15);

$m_{пост}$ - масса поступательно движущегося объекта (тележки или крана), т;

a - ускорение при разгоне, м/с², принимается равным (0,5...0,1)·[a];

[a] - допускаемое ускорение, м/с² (табл. 3.7).

Таблица 3.7.

Назначение крана	Допускаемое ускорение [a], м/с ²		
	Грузоподъемность, т		
	до 3,2	3,2...12,5	свыше 12,5
Перегрузка штучных грузов:			
- с помощью приводного захвата	0,10	0,10	0,10
- при ручной строповке	0,20	0,20	0,10

Обслуживание монтажных работ	1,10	0,07	0,05
------------------------------	------	------	------

Сопротивление от раскачивания груза на гибком подвесе

$$W_{\text{ГИБ}} = 10^3 \cdot (m_{\text{гр}} + m_n) \cdot a, \quad (3.6)$$

где $m_{\text{гр}}$ - масса номинального груза, т;

m_n - масса подвески, т.

Сопротивление, создаваемое ветром

$$W_{\text{в}} = \sum q \cdot K \cdot c \cdot F_n, \quad (3.7)$$

где F_n - расчетная наветренная площадь конструкции и груза (нетто), приближенно можно принять $F_n = \varphi \cdot F_{\text{б}}$;

$F_{\text{б}}$ - площадь брутто передней со стороны грани конструкции, ограниченная ее контуром;

φ - коэффициент заполнения, для ферменных конструкций $\varphi = 0,2 \dots 0,4$;

q - динамическое давление ветра, принимается в соответствии с табл. 3.8;

K - коэффициент, учитывающий изменение динамического давления на высоте, принимаемый по табл. 3.9;

c - коэффициент аэродинамической силы, принимаем для груза $c=1,2$.

Таблица 3.8.

Динамическое давление ветра на высоте 10 м над поверхность. Земли (воды) по ГОСТ 1451-77

Краны	Скорость ветра V, м/с	Динамическое давление q, Па
Строительные, монтажные, для штучных грузов, а также стреловые самоходные общего назначения.	14,0	125
Всех типов, устанавливаемые в речных и морских портах.	20,0	250
Устанавливаемые на объектах, исключаящих возможность перерыва в работе.	28,5	500

Таблица 3.9.

Поправочный коэффициент K

Высота над поверхностью земли (воды), м	10	20	40	60	100	200	350 и выше
Коэффициент К	1,0	1,25	1,55	1,75	2,1	2,6	3,1

3.4. Выбор электродвигателя

$$P = \frac{W_c \cdot V}{10^3 \cdot \eta}, \quad (3.8)$$

где V - номинальная скорость движения крана (тележки), м/с;

η - общий КПД механизма передвижения, ориентировочно можно принять 0,7...0,85.

Условия выбора двигателя

Первое условие - относительная продолжительность включения двигателя должна соответствовать относительной продолжительности включения механизма.

Второе условие:

$P_{\text{дв}} \geq P$ - центральный привод;

$P_{\text{дв}} \geq \frac{P}{Z_{\text{ПР}}}$ - отдельный привод,

где $Z_{\text{ПР}}$ - число приводов механизма.

После выбора двигателя необходимо выписать его условное обозначение, основные параметры и размеры.

3.5. Выбор передачи

Передачное число механизма определяется по формуле

$$u = \frac{n_{\text{дв}} \cdot \pi \cdot D_{\text{к}}}{60 \cdot V}, \quad (3.9)$$

где $n_{\text{дв}}$ - частота вращения вала двигателя, мин⁻¹;

$D_{\text{к}}$ - диаметр ходового колеса, м.

Передачу следует выбирать исходя из кинематической схемы механизма. Если в схеме имеется открытая зубчатая передача, то вначале необходимо определить ее основные параметры.

Передаточное число открытой передачи

$$u_{\Pi} = \frac{u}{u_P}, \quad (3.10)$$

где u_P - передаточное число редуктора. Назначается из стандартного ряда передаточных чисел (ГОСТ 2185-66): 2,0(2,24); 2,5(2,8); 3,15(3,55); 4,0(4,5); 5,0(5,6). Значения, стоящие в скобках, - менее предпочтительны.

Диаметр делительной окружности колеса d_2 ориентировочно можно принять равным $(0,9...0,93) \cdot D_K$.

Число зубьев шестерни z_1 принимается равным минимально допустимому значению - 17.

Число зубьев колеса

$$z_2 = u_{\Pi} \cdot z_1. \quad (3.11)$$

Модуль зубьев

$$m = \frac{d_2}{z_2}. \quad (3.12)$$

Значение модуля необходимо округлить до ближайшего большего из стандартного ряда модулей (ГОСТ 9563-60): 5,0(5,5); 6,0(7,0); 8,0(9,0); 10,0(11,0); 12,0(14,0); 18,0.

Диаметры делительных окружностей шестерни и колеса

$$d = m \cdot z. \quad (3.13)$$

Диаметры вершин зубьев

$$d_a = d + 2m. \quad (3.14)$$

Межосевое расстояние

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2}. \quad (3.15)$$

Выбор типа редуктора

В механизмах передвижения тележек используют вертикальные редукторы типов ВК и ВКУ-М, закрепляемые на вертикальной плите, и навесные типа ЦЗ_{ВК} (прилож. 5).

В механизмах передвижения кранов кроме вертикальных редукторов можно использовать горизонтальные, применяемые в механизмах подъема, а также червячные.

Типоразмер редуктора выбирают по методике аналогичной для механизма подъема груза.

После выбора типоразмера следует выписать условное обозначение и основные параметры.

3.6. Выбор муфт и тормоза

Выбор муфт выбирают по методике аналогичной для механизма подъема груза.

Выбор тормоза. Согласно Правил ГГТН, тормоза в механизмах передвижения необходимо устанавливать в трех случаях:

- машина работает на открытом воздухе;
- машина предназначена для работы в помещении, передвигается по пути, уложенном на полу;
- машина (тележка) предназначена для работы в помещении, передвигается по надземному пути со скоростью более 0,53 м/с.

Расчетный тормозной момент M_T (Н·м) при работе крана в закрытом помещении определяют при движении без груза под уклон в предположении, что реборды колес не задевают за головки рельсов:

$$M_T = \frac{W_{YO} \cdot D_K \cdot \eta_{mex}}{2u} + \frac{W_{ино} \cdot D_K \cdot \eta_{mex}}{2u} - \frac{W_{ТРО} \cdot D_K}{2u \cdot \eta_{mex}}, \quad (3.16)$$

где W_{YO} , $W_{ино}$, $W_{ТРО}$ - определяются аналогично п. 3.3 без учета веса груза.

Расчетный тормозной момент механизма при работе на открытом воздухе и отсутствии противоугонных устройств определяют по формуле

$$M_T = \left(\frac{W_{YO} \cdot D_K \cdot \eta_{мех}}{2u} + \frac{W_{BO} \cdot D_K \cdot \eta_{мех}}{2u} - \frac{W_{TPO} \cdot D_K}{2u \cdot \eta_{мех}} \right) \cdot k_{зан}, \quad (3.17)$$

где $k_{зан}$ - коэффициент запаса торможения, согласно Правил ГГТН $k_{зан}=1,2$.

Расчетный тормозной момент тормоза

$$M_{Т.Р.} = \frac{M_T}{Z_T}, \quad (3.18)$$

где Z_T - число тормозов в механизме.

Выбор типоразмера тормоза производится по тем же принципам, что и для механизма подъема груза. Выбрав тормоз, необходимо выписать условное обозначение и основные параметры.

3.7. Проверка выбранного двигателя

Выбранный электродвигатель проверяют по тепловым нагрузкам аналогично п. 2.6. Также выполняют проверку на время разгона крана или тележки до номинальной скорости вверх по уклону пути против ветра:

$$t_p = \frac{n_{об} \left[1,2(J_P + J_M) + \frac{(Q + m_K) \cdot D_R^2}{4 \cdot u^2 \cdot \eta_{мех}} \right]}{9,55 \cdot \left(M_{CP}^П - \frac{W_C \cdot D_K}{2 \cdot u \cdot \eta_{мех}} \right)}, \quad (3.19)$$

где J_P - момент инерции ротора двигателя, кг·м²;

J_M - момент инерции соединительных муфт на валу двигателя, кг·м²;

$M_{CP}^П$ - среднепусковой момент двигателя, Н·м;

Q, m_K - соответственно, масса номинального груза и крана (тележки), кг.

Условие проверки

$$t_p \approx [t_p], \quad (3.20)$$

где $[t_p]$ - допускаемое время разгона, для кранов $[t_p]=8...10$ с, для тележек $[t_p]=4...6$ с.

Также необходимо определить ускорение и сравнить его с допускаемым значением из условия отсутствия проскальзывания приводных колес по рельсу:

$$a = \frac{\frac{N_{np}}{[K_{сц}]} (\mu_0 \pm W_{mp0}) \pm W_c}{m_k + Q}, \quad (3.21)$$

где N_{np} - нагрузка на приводные колеса, Н;

μ_0 - коэффициент сцепления приводных колес с рельсами: для кранов, работающих в закрытых помещениях $\mu_0=0,2$; для кранов, работающих на открытом воздухе $\mu_0=0,12$;

$[K_{сц}]$ - допускаемый коэффициент запаса сцепления: при работе без ветровой нагрузки $[K_{сц}]=1,2$; при работе с ветровой нагрузкой $[K_{сц}]=1,1$;

W_c - статическое сопротивление движению, Н; при разгоне $W_c = W_{mp} + W_y + W_e$; при торможении $W_c = W_{mp}^{min} - W_y - W_e$ (W_{mp}^{min} определяется по формуле (3.2) при $K_p=1$).

3.8. Расчет ходовых колес

Выбранные ходовые колеса кранов и тележек проверяют по напряжениям в контакте обода и рельса. При этом эффективные напряжения σ не должны превышать допускаемого значения $[\sigma_N]$ с учетом числа оборотов колеса за срок его службы.

Напряжения σ , МПа, в контакте обода колеса и рельса с выпуклой головкой определяют по формуле

$$\sigma = 7500 \cdot K \cdot K_f \sqrt[3]{\frac{K_D \cdot P_{max}}{D_k}}, \quad (3.22)$$

где K - коэффициент, зависящий от радиуса закругления головки рельса R (см. табл. 3.3) к диаметру колеса, определяется по табл. 3.10);

D_k - диаметр колеса, см;

P_{\max} - максимальная статическая нагрузка на колесо, кН;

K_f - коэффициент, учитывающий влияние касательной нагрузки на напряжение в контакте, определяется по табл. 3.11;

K_d - коэффициент динамичности пары колесо-рельс, определяемый по формуле

$$K_d = 1 + a \cdot V, \quad (3.23)$$

a - коэффициент, зависящий от жесткости кранового пути, с/м, определяется по табл. 3.12;

V - номинальная скорость передвижения, м/с.

Таблица 3.10.

Значение коэффициента K

R/D_k	K	R/D_k	K	R/D_k	K
0,3	0,176	0,8	0,127	1,3	0,111
0,4	0,157	0,9	0,123	1,4	0,108
0,5	0,143	1,0	0,119	1,5	0,107
0,6	0,137	1,1	0,117	1,6	0,105
0,7	0,133	1,2	0,113	1,7	0,103

Таблица 3.11.

Значение коэффициента K_f

Условия работы крана	K_f
В закрытых помещениях при $V < 2$ м/с	1,05
при $V \geq 2 \div 3,2$ м/с	1,07
На открытых площадках	1,1

Таблица 3.12.

Значение коэффициента a

Тип кранового пути	a , с/м	Тип кранового пути	a , с/м
Рельсы: на шпалах на балласте	0,1	Рельсы: на железобетонных балках	0,2
на металлических балках	0,15	на массивных фундаментах	0,25

$$[\sigma_N] = [\sigma_0] \cdot \sqrt[9]{\frac{10^4}{N}}, \quad (3.24)$$

где $[\sigma_0]$ - допускаемое напряжение при $N \leq 10^4$, МПа, определяется по табл. 3.13;

N - приведенное число оборотов колеса за срок службы

$$N = \Theta \cdot N_c, \quad (3.25)$$

Θ - коэффициент приведенного числа оборотов, зависит от отклонения минимальной нагрузки на колесо к максимальной, определяется по табл. 3.14;

N_c - полное число оборотов колеса за срок службы, определяется по формуле

$$N_c = 3,6 \cdot 10^4 \frac{V_c}{\pi \cdot D_k} T_{\text{маш}}; \quad (3.26)$$

V_c - усредненная скорость передвижения колеса, м/с

$$V_c = \beta \cdot V;$$

β - коэффициент, зависящий от отношения времени неустановившегося движения t_n (суммарного времени разгона и торможения) к полному времени передвижения t , определяется по табл. 3.15;

$T_{\text{маш}}$ - машинное время работы колеса в часах за срок его службы, определяется по табл. 3.16.

Таблица 3.13.

Допускаемые напряжения $[\sigma_0]$

Марка материала	Вид термообработки	НВ	$[\sigma_0]$, МПа
Поковка			
Сталь 45 по ГОСТ 1050-88	Нормализация	200	610
Сталь 50 по ГОСТ 1050-88	Закалка, отпуск	240	700
Сталь 75 и 65Г по ГОСТ 14959-79	Закалка, отпуск	330	860
Прокат			
Сталь 75 и 65Г по ГОСТ 10791-81	Закалка, отпуск	350	920
Отливка			
Сталь 55 по ГОСТ 977-75	Отжиг	190	560
Сталь 35ГЛ по ГОСТ 977-75	Отжиг	210	600

Таблица 3.14.

Значение коэффициента Θ

P_{min}/P	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Θ	0,16	0,19	0,24	0,3	0,38	0,49	0,63

Примечание: значение R_{\min} определяют расчетом для случая, когда тележка без груза находится у противоположной опоры крана.

Таблица 3.15.

Значение коэффициента β

$t_{н}/t$	0,2	0,4	0,6	0,8	1
β	0,89	0,8	0,7	0,6	0,5

Таблица 3.16.

Машинное время $T_{\text{маш}}$

Параметр	Группа режима работы механизма по ГОСТ 25835-83		
	1М, 2М	3М, 4М	5М, 6М
$T_{\text{маш}}$, час	1600	3200	12500
Ориентировочный срок службы, лет	12	8	5-4

ГЛАВА 4. РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ВРАЩЕНИЯ

4.1. Исходные данные

- частота вращения крана (его элемента), мин^{-1} ;
- группа режима работы механизма;
- максимальный вылет, м;
- остальные данные те же, что при проектировании других механизмов;
- геометрическая схема крана, массы и координаты центров масс всех узлов крана относительно оси вращения.

4.2. Выбор кинематической схемы и места расположения механизма

По компоновке механизм вращения кранов (тележек) с электродвигателем могут быть с горизонтальным (рис. 4.1 а, б) и вертикальным расположением двигателя (рис. 4.2 в, г).

Механизмы вращения с вертикальным расположением двигателя более компактны, позволяют избежать конических, червячных и других передач, имеющих малую надежность или низкий КПД, проще в обслуживании, имеют меньшую массу.

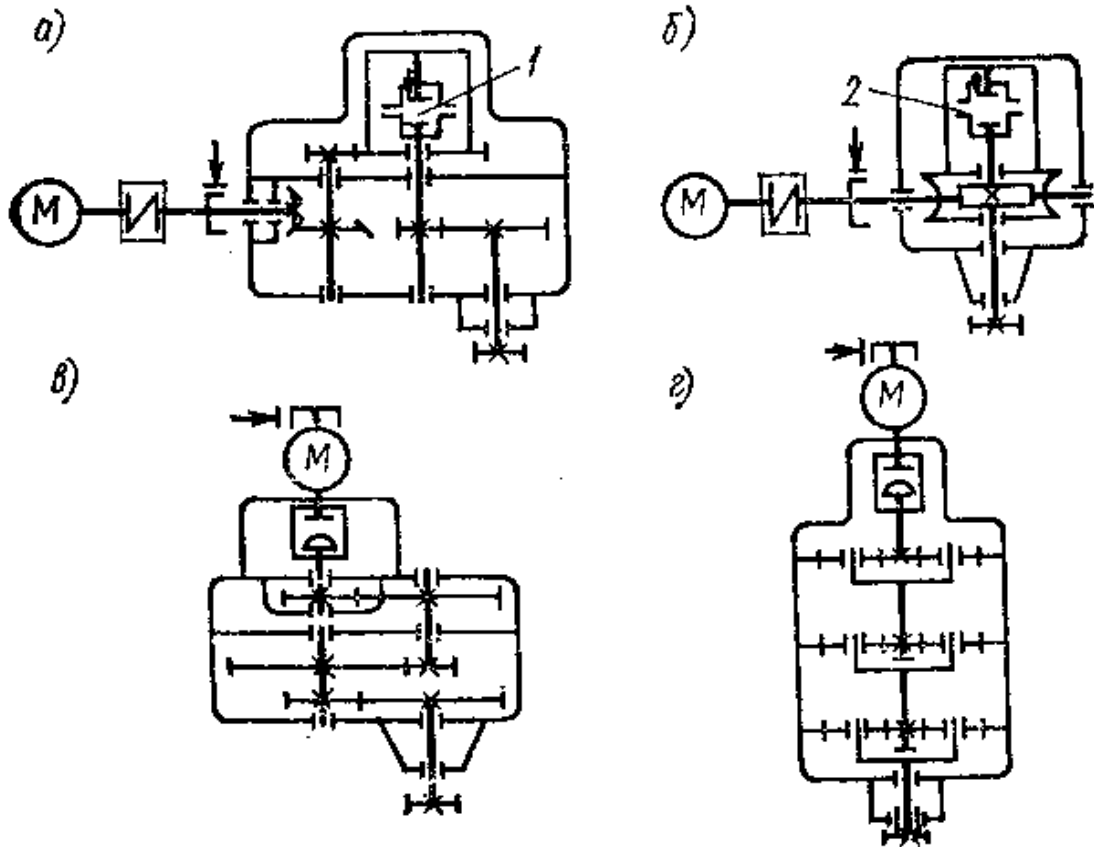


Рис. 4.1. Кинематические схемы механизмов вращения крана: а - с горизонтальным расположением двигателя и коническо-цилиндрическим редуктором; б - то же с червячным редуктором; в - с вертикальным расположением двигателя и цилиндрическим редуктором; г - то же с планетарным редуктором: 1, 2 - фрикционные предохранительные муфты.

4.3. Определение параметров, необходимых для расчета

4.3.1. Кран с вращающейся колонной

Расчетная схема крана и схемы верхней и нижних опор приведены на рис. 4.2.

Расстояние между опорами h можно определить из выражения

$$h = 0,15 \cdot Q \cdot L, \quad (4.1)$$

где L - максимальный вылет, м;

Q - грузоподъемность крана, т.

Расстояние c от оси вращения до центра масс поворотной части крана примерно можно определить

$$c = (0,25..0,30)L, \quad (4.2)$$

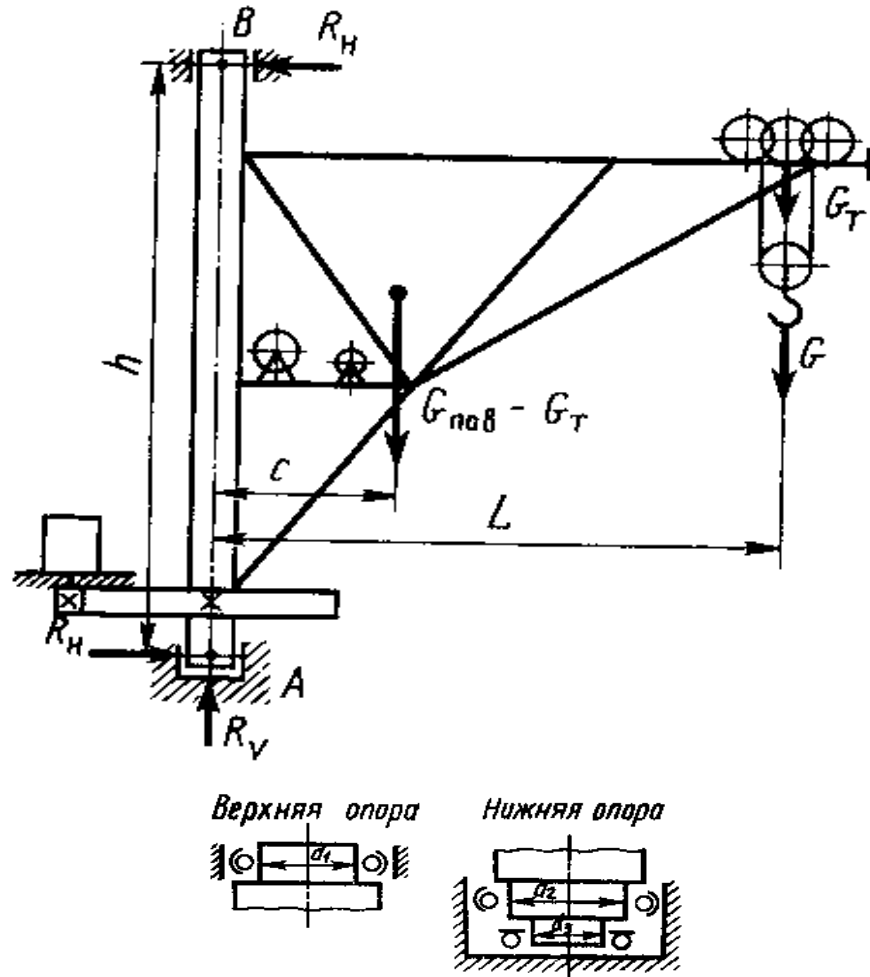


Рис. 4.2. Расчетная схема крана с вращающейся колонной.

Диаметры цапф d_1 и d_2 под сферическими подшипниками верхней и нижней опор предварительно можно принять

$$d_1 = d_2 = 0,07h, \quad (4.3)$$

Диаметр цапфы d_3 под упорным подшипником нижней опоры

$$d_3 = (0,6..0,7)d_2, \quad (4.4)$$

Вес поворотной части $G_{пов}$ кранов и вес тележек G_T можно предварительно принять из табл. 3.2.

4.3.2. Кран на неподвижной колонне

Расчетная схема стационарного крана на неподвижной колонне приведена на рис. 4.3.

Расстояние между опорами h можно принять по формуле (4.1).

Остальные параметры:

$$c = (0,25..0,30)L; \quad (4.5)$$

$$L_{\min} = 0,8..2 \text{ м}; \quad (4.6)$$

$$d_2 = 0,07h; \quad (4.7)$$

$$d_3 = (0,6..0,7)d_2; \quad (4.8)$$

$$b = 0,3L; \quad (4.9)$$

$$d_p = (0,25..0,35)D_p, \quad (4.10)$$

где D_p - диаметр ролика

$$D_p = (0,5..0,6)D_{\text{КОЛ}}, \quad (4.11)$$

$D_{\text{КОЛ}}$ - диаметр кованной колонны, имеющей круглое сплошное сечение

$$D_{\text{КОЛ}} \geq 0,217 \sqrt[3]{\frac{M_{II}}{[\sigma]_{II}}}, \quad (4.12)$$

$[\sigma]_{II}$ - допускаемые напряжения при изгибе по симметричному циклу нагружения, приведенное в табл. 4.1;

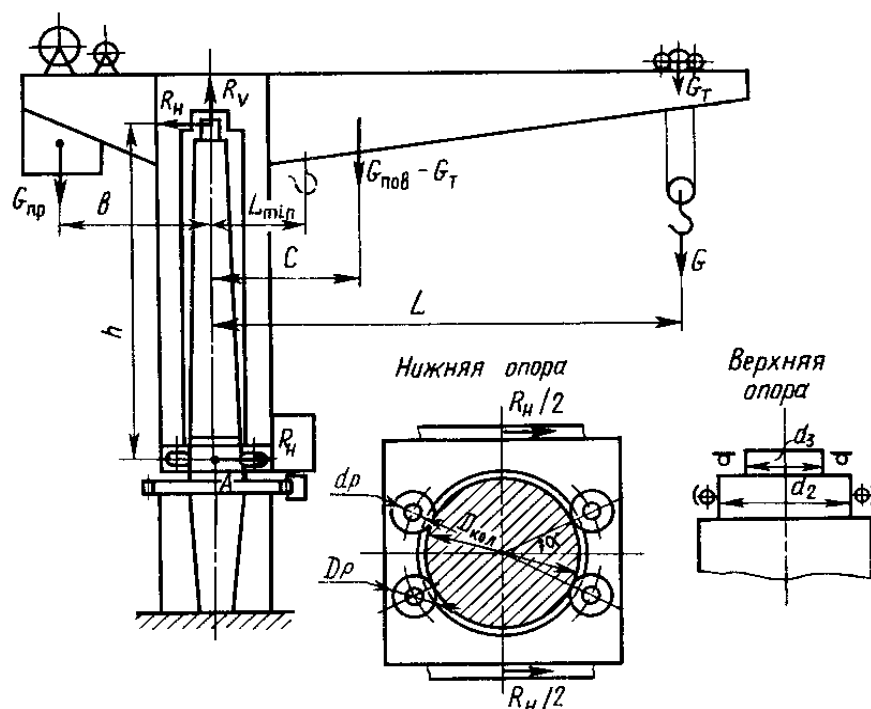


Рис. 4.3. Расчетная схема стационарного крана на неподвижной колонне.

M_H - момент, изгибающий колонну, кН·м

$$M_H = R_H \cdot h;$$

R_H - горизонтальная реакция опоры, кН.

Таблица 4.1.

Значение $[\sigma]_{и}$			
Предел прочности σ_B , МПа	$[\sigma]_{и}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа	$[\sigma]_{и}$, МПа
392,3	39,23	588,4	53,94
490,4	44,13	686,5	63,75

4.4. Определение опорных реакций и выбор подшипников

Вертикальную R_V и горизонтальную R_H реакции в опорах определяют из уравнений статики.

Для восприятия горизонтальных нагрузок применяют радиальные сферические двухрядные шариковые подшипники (тип 1000) по ГОСТ 5720-75 или роликовые радиальные сферические двухрядные (тип 3000) по ГОСТ 5721-75.

Для восприятия вертикальных нагрузок применяют шариковые упорные одинарные подшипники (тип 8000) по ГОСТ 6874-75.

Подшипники выбирают по максимальной статической нагрузке, равной реакции в опоре. Эта нагрузка не должна превышать базовой статической радиальной грузоподъемности $C_{ор}$ (для сферических подшипников) или базовой статической осевой грузоподъемности $C_{оа}$ (для упорных подшипников).

Выбрав типоразмер подшипника, необходимо выписать его условное обозначение и основные параметры.

4.5. Определение момента сопротивления повороту

Момент сопротивления повороту крана, действующий в период разгона механизма

$$M_C = M_{TP} + M_B + M_{ИН}, \quad (4.13)$$

где M_{TP} - момент сил трения в опорно-поворотном устройстве, кН·м;

M_B - момент рабочей нагрузки рабочего состояния, кН·м (только для кранов, работающих на открытом воздухе);

$M_{ИН}$ - момент сил инерции, действующих на груз, поворачивающиеся части крана и вращающиеся части механизма поворота (ротор двигателя, тормозной шкив, муфты), кН·м.

$$M_{TP} = M_{TP.B} + M_{TP.H}, \quad (4.14)$$

где $M_{TP.B}$ и $M_{TP.H}$ - соответственно моменты сил трения в верхней и нижней опорах, кН·м.

Для крана с вращающейся колонной

$$M_{TP.B} = \mu \cdot R_H \frac{d_1}{2} \cdot 10^{-3}; \quad (4.15)$$

$$M_{TP.H} = f \left(R_H \frac{d_2}{2} + R_V \frac{d_3}{2} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (4.16)$$

где μ - приведенный коэффициент трения скольжения в подшипнике (см. табл. 3.3);

f - коэффициент трения качения, мм (см. табл. 3.4 - вместо диаметра колеса принимать диаметр ролика, для $D_p=100...150$ мм $f=0,25$ мм);

d_1, d_2, d_3 - диаметры цапф, мм.

Для крана на неподвижной колонне

$$M_{TP.B} = \mu \cdot \left(R_H \frac{d_2}{2} + R_V \frac{d_3}{2} \right) \cdot 10^{-3}; \quad (4.17)$$

$$M_{TP.H} = \frac{R_H (2f + \mu \cdot d_p) \cdot (D_{КОЛ} + D_p)}{2 \cdot 10^3 \cdot D_p \cos \alpha}. \quad (4.18)$$

Момент ветровой нагрузки рабочего состояния

$$M_B = P_{В.ПОВ} \cdot l_B + P_{В.ГР} \cdot L - P_{В.ПР} \cdot b, \quad (4.19)$$

где $P_{В.ПОВ}, P_{В.ГР}, P_{В.ПР}$ - соответственно ветровая нагрузка рабочего состояния на поворотную часть крана, груз и противовес, кН (см. расчет механизма передвижения);

l_B - расстояние от оси поворота до центра ветрового давления на поворотную часть крана, м;

b - расстояние от оси поворота до центра тяжести противовеса, м;

L - расстояние от оси поворота до центра тяжести груза, м.

Момент сил инерции

$$M_{ИН} = J \cdot \varepsilon, \quad (4.20)$$

где ε - угловое ускорение крана, рад/с², $\varepsilon = [a]/L$;

$[a]$ - допускаемое ускорение, м/с² (см. табл. 3.6);

J - момент инерции вращающихся частей крана, груза и противовеса, тм²;

$$J = \gamma \cdot \xi \cdot \sum m_j x_j^2; \quad (4.21)$$

γ - коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей механизма поворота, $\gamma = 1, 2 \dots 1, 4$;

ξ - коэффициент приведения геометрических радиусов вращения к радиусам инерции, $\xi = 1,3 \dots 1,4$;

m_j - масса поворачиваемой части крана, т;

x_j - расстояние от центра массы m_j , м: $x_{ГР}=L$, $x_{ПОВ}=c$, $x_{ПР}=b$.

4.6. Выбор двигателя

Мощность двигателя

$$P = \frac{M_C \cdot \omega_{кр}}{\eta_{нр}}, \quad (4.22)$$

где $\omega_{кр}$ - угловая скорость вращения крана, рад/с;

$\eta_{нр}$ - предварительное значение КПД механизма, можно принять $\eta_{нр} = 0,75 \dots 0,8$.

Выбрав двигатель, необходимо выписать его условное обозначение и основные параметры.

4.7. Выбор передачи

В зависимости от принятой кинематической схемы передаточное число привода необходимо разделить на передаточные числа редуктора и открытой передачи.

В приводах можно применять унифицированные редукторы типов КЦ1, КЦ2, КЦ2-М, КЦН-Д, Ч2, 2Ч, РГСЛ, ЧГ.

Принцип выбора редукторов тот же, что и в механизме подъема груза и передвижения крана (тележки).

4.8. Выбор тормоза и муфт

Расчетный тормозной момент

- для кранов, работающих на открытом воздухе

$$M_{ТР} = \frac{M_B \cdot \eta_{нр}}{u_{мех}} + \frac{M_{ИН} \cdot \eta_{нр}}{u_{мех}} - \frac{M_{ТР}}{u_{мех} \cdot \eta_{нр}}, \quad (4.23)$$

- для кранов, работающих в закрытом помещении

$$M_{TP} = \frac{M_{ИН} \cdot \eta_{нр}}{u_{мех}} - \frac{M_{TP}}{u_{мех} \cdot \eta_{нр}}, \quad (4.24)$$

где $u_{мех}$ - передаточное число механизма.

Выбор тормоза принципиально не отличается от описанного в механизме подъема груза и осуществляют его с коэффициентом запаса торможения $k_3=1,5$.

Выбор муфт аналогичен, рассмотренному в механизме подъема груза.

После выбора тормоза и муфт необходимо выписать обозначение их типоразмера и основные параметры.

4.9. Проверка двигателя на время разгона и торможения

Для расчета времени разгона можно использовать формулу (2.26). Допускаемое время разгона можно принять равным 3...7 с.

Если время разгона окажется существенно больше (на 20% и более) указанных значений, необходимо выбрать более мощный двигатель при той же относительной продолжительности включения и той же или близкой частоте вращения.

При выполнении проверки на время торможения необходимо, чтобы оно не превышало времени разгона. Если условие проверки не выполняется следует отрегулировать тормоз на больший момент.

ГЛАВА 6. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

6.1. Оформление текстовой части проекта

Пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 на листах писчей бумаги формата А4 (297x210 мм). Подлинники текстовых документов выполняют одним из следующих способов:

- машинописным, при этом следует выполнять требования ГОСТ 13.1.002; шрифт пишущей машинки должен быть четким, высотой не менее 2,5 мм, лента только черного цвета (полужирная);

- рукописным, чертежный шрифт по ГОСТ 2.304-81 с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм; цифры и буквы необходимо писать четко черной тушью;

- с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004).

Другие способы оформления пояснительной записки не допускаются.

На каждой странице вычерчивают рамку с оставлением полей слева 20 мм, сверху, снизу, справа по 5мм. Основная надпись оформляется в соответствии с рис. 6.1 и 6.2.

					ПК XXX.XX.XXX.ПЗ			
Изм.	Лист	№Докум.	Подп.	Дата	Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов
Разраб.								
Провер.								
Н. конт.						ТулГУ		
Утв.						гр. 09241		

Рис. 6.1. Основная надпись на первом листе пояснительной записки

					ПК XXX.XX.XXX ПЗ			Лист
Изм.	Лист	№Докум.	Подп.	Дата				

Рис. 6.2. Основная надпись на остальных листах пояснительной записки

Применительно к учебным целям приняты следующие условные обозначения документов, например, **ПК XXX.XX.XXX.ПЗ**

ПК - проект курсовой;

XXX - код классификационной характеристики в соответствии с классификатором промышленной продукции;

XX - номер варианта;

XXX - номер листа (для графической части), для пояснительной записки 000;

ПЗ - пояснительная записка или **СБ** - сборочный чертеж.

Титульный лист проекта, является первым листом пояснительной записки. На рис. 6.3 представлен образец титульного листа курсового проекта по ГПМ.

Расстояние от рамки до текста пояснительной записки должно составлять в начале строк не менее 5 мм, в конце строк не менее 3 мм. Абзацы в тексте начинают отступом от начала строк на 15 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки листа должно быть не менее 10 мм.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра “ Наземные транспортно-технологические комплексы ”

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выполнению курсового проекта по дисциплине

“ГРУЗОПОДЪЁМНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ”

для специальности 23.05.01

«Наземные транспортно-технологические средства»,
специализация «Подъемно-транспортные, строительные,
дорожные средства и оборудование».

ТЕМА:

Выполнил: студент гр. ПТМ-914-3

ФИО.

Руководитель:

доц. Коровин С.К.

Санкт-Петербург
2023 г.

Рис. 6.3. Образец титульного листа пояснительной записки курсового проекта

Построение документа. Текст пояснительной записки разделяют арабскими цифрами на разделы и подразделы (последние могут быть из одного или нескольких пунктов и подпунктов). Во всех случаях разделы, подразделы, пункты и подпункты отделяются отточием, например: 4.1.,

4.1.5, 4.1.5.1 и т. д. Каждый раздел, подраздел, пункт и подпункт записывают с абзаца. Раздел может не иметь подразделов.

Наименования разделов и подразделов должны быть краткими, увязанными с пунктами задания на проектирование. Перенос слов в заголовках, их подчеркивание не допускается.

Каждый раздел пояснительной записки начинают с нового листа. Помещать наименование раздела на отдельном листе не допускается.

Правила изложения текста. В тексте пояснительной записки должны применяться научно-технические термины, обозначения, определения и т.п., установленные соответствующими стандартами.

В тексте пояснительной записки не допускается:

— употреблять математические знаки без цифр, например: = (равно), а также знаки типа: $\frac{1}{2}$, % и т. п.;

— заменять слова буквенными обозначениями, например: слово "температура" буквой t° ;

— применять индексы нормативно-технических документов (ГОСТ, ТУ) без регистрационного номера;

— применять сокращение слов, кроме установленных правилами русской орфографии и пунктами, а также соответствующими Государственными стандартами.

В тексте вместо математических знаков "—", "+" следует писать слова "минус", "плюс".

Специфические сокращенные термины (аббревиатуры) приводят при первом применении в скобках после полного их наименования, например: "Нормативно-технический документ" (НТД).

Числа без размерности следует писать словами, например: "катушку пропитать два раза".

Даты в документе оформляют цифровым способом в одной строке в последовательности: день месяца, месяц, год, например: 19.07.1995.

Ссылку в тексте записки на источник оформляют указанием его порядкового номера по списку использованной литературы, например: (стр. 51 [2]) — страница 51 учебник 2.

При ссылке на стандарты, технические условия, правила, инструкции, нормы и др. нормативно-технические документы называют документ полностью, его раздел, подраздел и т. д.

При ссылке на данные пояснительной записки, помещенные ранее, указывают в круглых скобках (см. рис. 10), (см. табл. 4). Если ссылаются на данные, расположенные ниже по тексту, то слово "смотри" не пишется, например: (табл. 10), (с. 17).

Единицы величин. В пояснительной записке применяют единицы физических величин, их наименования и обозначения установлены ГОСТ 8.471—81, а также единицы др. величин, установленных соответствующими стандартами.

Наименование и единица одной и той же величины, а также обозначение единицы в пределах одного документа, должны быть постоянными.

Интервалы числовых значений записывают словами "от" и "до", например: "толщина слоя должна составлять от 1,5 до 2,0 мм", или "1,5. : . 2,0 мм".

Числовые значения величин с предельными отклонениями заключают в скобки, а обозначение единиц измерения помещают после скобки, например: "(100,0+0,1) кг" или "50 г±1 г".

Буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделяют точками на средней линии, как знаками умножения, например: «Н·м».

Не допускается сочетать буквенные обозначения и наименования единиц. Например: следует писать 100 километров в час или 100 км/час, но не 100 км в час.

Формулы. Все формулы нумеруются арабскими цифрами в пределах

раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и ее порядкового номера, разделенных точкой. Номер формулы указывают в круглых скобках с правой стороны в последней строке формулы. Для формул, представляющих собой дробь с горизонтальной чертой, номер их указывают по середине строки, справа.

При изложении математических выводов следует избегать выражения: будем иметь, имеется, имеем, будет получаться, будет иметь вид, выразится в виде и т. п. Следует употреблять слова: получаем, находим, определяем, следовательно, преобразуется, откуда, или т. д.

Формулы располагают по середине строки, а связывающие их слова — в начале строки. Формулы выполняют прописным шрифтом высотой 3,5—5,0 мм.

Длинные формулы переносят в первую очередь на знаках равенства и соотношений ($=$; $"$, $<$; $>$ и т. д.), во вторую — на знаке умножения, сложения и вычитания. При переносе знаки в начале следующей строки повторяют.

Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, приводят непосредственно под формулой. Первую строку расшифровки записывают без абзаца со слова "где", без двоеточия. Последовательность расшифровки символов должна соответствовать их расположению в формуле. Вначале расшифровывают числитель.

Таблицы. С целью уменьшения объема текстового документа, Наглядности и удобства часто цифровой материал сводят в таблицы.

На все таблицы в тексте должны быть ссылки, при этом слово "таблица" пишут полностью, если она не имеет номера, и сокращенно, если есть номер, например: "В табл. 1.1 и 1.3".

Таблицы располагают за ссылкой на них в тексте. Ссылки на ранее упомянутые таблицы дают сокращенным словом "смотри", например: "см. табл. 1.1".

Все таблицы, если их в документе более одной, нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Номер таблицы состоит из номера раздела и ее порядкового номера, разделенных точкой.

Над правым верхним углом таблицы помещают надпись "Таблица", с указанием ее номера, например: "Таблица 4.3".

При наличии заголовка надпись "Таблица" пишут справа над ним на расстоянии 8 мм.

Расстояние между предыдущим текстом и словом "Таблица" или текстом и заголовком таблицы 15мм. Такое же расстояние выдерживают между линией таблицы и текстом документа.

Таблица должна быть ограничена (закрыта со всех сторон) сплошными основными линиями. Такими же линиями ограничивают головку таблицы и боковик. Остальные линии — сплошные тонкие.

Таблицу располагают симметрично тексту, расстояние между боковыми линиями таблицы и рамкой листа — 5—10 мм.

Заголовки граф таблицы начинают с прописных букв, а подзаголовки — со строчных, если они составляют одно целое предложение с заголовком. Подзаголовки, имеющие самостоятельное значение, пишут с прописной буквы.

Все заголовки записывают в единственном числе, в конце заголовков и подзаголовков знаки препинания не ставят.

Диагональное деление головок не допускают. Высота строки таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблицы большого объема допускается располагать вдоль длинной стороны листа так, чтобы при их чтении документ можно было повернуть на 90° по ходу часовой стрелки.

В отдельных случаях заголовки и подзаголовки граф и строк допускается записывать под углом 90° в таблице (снизу вверх) так, чтобы для их чтения документ надо было повернуть на 90° по ходу часовой стрелки.

Таблицу делят на части, если ее строки или графы выходят за формат листа. В первом случае в каждой части таблицы повторяют всю ее головку, во втором — боковик.

Над последующими частями таблицы с прописной буквы пишут "Продолжение" или "Продолжение табл." с указанием ее номера. Заголовок таблицы помещают только над первой частью.

Иллюстрации. К иллюстрациям относятся графические материалы, специально выполняемые на формах текстовых документов (изображения изделий, зданий, сооружений, схемы, графики, диаграммы, и т. п.)

Фотоснимки следует наклеивать на листы текстового документа выполненные по той же форме, что и остальные листы.

Иллюстрации выполняют черной тушью, пастой или чернилами по правилам, установленным соответствующими стандартами. Выполнение иллюстраций в карандаше может быть разрешено стандартом предприятия.

Иллюстрации располагают возможно ближе к соответствующим частям текста или в конце его. Иллюстрации следует размещать на листах документа так, чтобы их можно было рассматривать без поворота документа или с поворотом документа на 90° по ходу часовой стрелки.

Все иллюстрации нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Номер иллюстрации состоит из номера раздела и ее порядкового номера, разделенных точкой, например: "Рис. 7.14".

Части одной иллюстрации, представляющие собой отдельные изображения, обозначают строчными буквами русского алфавита слева направо или сверху вниз.

Ссылки на иллюстрации в тексте дают по типу "рис. 7.14", или "см. рис. 7.14".

Приложения. В приложения включают материалы вспомогательного, справочного и Другого характера. На приложения должны быть ссылки в

основном тексте. Приложения оформляют на последующих листах, как продолжение документа. Каждое приложение начинают с нового листа с указанием в правом верхнем углу прописными буквами по типу "ПРИЛОЖЕНИЕ 3". Приложения нумеруют в порядке появления в текстовом документе ссылок, которые дают по типу "... приведены в приложении 3".

Список использованных источников. В конце пояснительной записки курсового и дипломного проектов, а при необходимости и в других документах, следует приводить список использованных при разработке документа источников. Этому списку порядковый номер раздела не присваивают.

Словосочетание "Список использованных источников" подписывают симметрично тексту в виде заголовка прописными буквами. Источники располагают в порядке алфавита.

Библиографические сведения об источнике в списке приводят в соответствии с правилами ГОСТ 7.1—76. Библиографическое описание произведений печати.

Библиографические сведения о книгах должны включать фамилии и инициалы авторов, заглавие книги, сведения о повторности издания, место издания, наименование издательства, год, порядковый номер тома, выпуска или части, количество страниц.

Фамилии авторов указывают в именительном падеже в той последовательности, в которой они напечатаны в книге, перед фамилией последующего автора ставят запятую. Если авторов более трех, то приводят фамилии и инициалы только первых трех с добавлением слов "и др."

Заглавие книги приводят в том виде, в каком оно дано на титульном листе. Место издания приводят полностью в именительном падеже. Сокращают названия только двух городов: Москва (М), Санкт-Петербург (СП). Наименование издательства приводят в сокращенной форме и в кавыч-

ки не заключают. Год издания обозначают арабскими буквами, букву "г" или слово "год" не приводят. Порядковый номер тома, выпуска или части указывают сокращенно по типу: "т. 1; вып. 69; ч. 3". Количество страниц указывают фактическое, обозначение будет "283 с.". Например: Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. - М.: Высш. шк., 1995. - 560 с.

6.2. Общие правила выполнения чертежей

Графическая часть курсового проекта выполняется на листах ватмана стандартного формата по ГОСТ 2.301-68 (табл. 6.1) карандашом или тушью.

Таблица 6.1.

Формат	A0	A1	A2	A3	A4
Размеры строк, мм	841x1189	594x841	420x594	297x420	210x297

На листах ватмана должны быть границы формата, рамка отстоящая на 5мм по периметру, с левой стороны 20 мм. В правом нижнем углу формата помещают основную надпись чертежа, а в левом верхнем углу помещают номер документа.

Чертежи выполняются в соответствии с ГОСТ 2.301-68 и ГОСТ 2.317-68. Эти стандарты установлены на конструкторскую документацию всех отраслей промышленности и строительства. С 01.01.1990 г. в ГОСТ 2.305-68 «Изображения - виды, разрезы, сечения» внесены изменения.

На разрезах и сечениях буквенные выражения «А-А» не подчеркивают. Слово «Вид Б» следует заменить на прописную букву Б. Вместо слова «повернуто» поставить знак \angle , при необходимости указать угол поворота: 135° .

На выносных элементах заменить обозначение «1» на «А», $\frac{1}{M2:1}$ на А(2:1).

Масштабы изображений на чертежах, согласно ГОСТ 2.302-68, необходимо выбирать из следующего ряда:

- масштабы уменьшения - 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000;

- масштабы увеличения - 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1.

Материалы и их условное обозначение на чертежах.

Из серого чугуна (ГОСТ 1412—85) изготавливают отливки марок С400, СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ21 и др. Из чугуна средней прочности СЧ15, СЧ18, $\tilde{N} \times 21$ изготавливают кронштейны, корпуса, шкивы, клапаны, втулки. Из более прочного (СЧ32, СЧ36) изготавливают зубчатые колеса, поршни, патроны и др. Пример условного обозначения чугуна: " $\tilde{N} \times 18$ ГОСТ 1412—85"

Ковкий чугун (ГОСТ 1215—79) получают термической обработкой белых чугунов. Наиболее распространены марки КЧ30—6, КЧ33—8, КЧ35—10, КЧ37—12, КЧ45—6 и др. Из ковкого чугуна отливают пластинчатые цепи, кулачки, вкладыши и др. Пример условного обозначения: "КЧ33—8 ГОСТ 1215—79".

Сталь углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380—88). Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. Из стали $\tilde{N} \hat{I}$, Ст1 изготавливают трубы, резервуары, кожухи; Ст3, $\tilde{N} \hat{0}4$ — болты, винты, гайки, шпильки, оси и т. п.; $\tilde{N} \hat{0}5$, Ст6 используются для валов, шестерен, шпонок. Пример условного обозначения: "Ст3 ГОСТ 380—88".

Сталь углеродистая качественная конструкционная ГОСТ 1050—88 выпускается следующих марок: 08 кп, 08 спс, 10, 15 кп, 20 кп, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 60, 65 и др.

Сталь марок 10, 15, 20, 25 применяют для изготовления крепежных изделий, втулок, муфт и др. Сталь марок 35, 40, 45 — для изготовления деталей, несущих нагрузки: коленчатые валы, штоки; сталь 65Г применяется для изготовления пружин. Пример условного обозначения: "Сталь 65А ГОСТ 1050—88".

Сталь углеродистая инструментальная (ГОСТ 1438—90) У7, У8, У9, У8ГА и др. Эта сталь идет для изготовления инструмента. Пример условного обозначения: "Сталь У8 ГОСТ 1435—90".

Бронзы оловянные литейные (ГОСТ 613—79) БрОЦСНЗ—7—5—1, БрОЦСЗ—12—5 и др. Применяют бронзу для изготовления арматуры, работающей в морской и пресной воде, масле и паре. Пример условного обозначения: "БрОЦСЗ—12—5 ГОСТ 613—79".

Бронзы безоловянные (ГОСТ 18175—78). БрА5, БрАЖ9—4, БрАМц9—2 и др.

5.7.8. Медно-цинковые сплавы (латуни) литейные (ГОСТ 17711—80) ЛА67—2.5; ЛАЖМч66—6—3—2; ЛК80—ЗЛ и др. применяют для литейных подшипников и втулок, нажимных гаек. Пример условного обозначения: "ЛА67—2,5: ГОСТ 1771—80"

Латуни, обрабатываемые давлением (ГОСТ 15527—70) Л96, Л90, Л85, Л70, ЛАЖ60—1—1 и др. Из латуни прокатывают листы, прутки, ленту, проволоку. Пример условного обозначения: "Лист Ё70 Гк 5б600б1500 ГОСТ 931—78".

Алюминиевые сплавы литейные (ГОСТ 1583—93) АЛ8, АЛ 13, АЛ22, АП27 и др. Применяются для отечественных деталей двигателей, поршней, деталей сложной конфигурации. Пример условного обозначения: "АЛ8 ГОСТ 1583—93".

Пример обозначения сортаментов:

швеллер № 20 из стали Ст 3

швеллер 20 ГОСТ 8240-89
Ст 3 ГОСТ 535-93

Утверждены на заседании кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»