

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова

А.Г. Насыбуллин  
М.Б. Пермяков  
Н.А. Попова

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ**

*Допущено Уральским отделением Учебно-методического  
объединения вузов РФ по образованию в области  
строительства в качестве учебно-методического пособия  
для студентов специальности 270102 «Промышленное  
и гражданское строительство» всех форм обучения*

Магнитогорск  
2011

УДК 69.002.51(07)

Рецензенты:

Заведующий кафедрой машиноведения МаГУ,  
доцент, кандидат технических наук

***В.С. Славин***

Советник исполнительного директора ОАО «Магнитострой»

***Б.П. Крючков***

**Насыбуллин А.Г., Пермяков М.Б., Попова Н.А.**

**Строительные машины. Примеры расчетов:** учебно-методическое пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им.Г.И.Носова, 2011. – 112 с.  
ISBN 978-5-9967-0186-5

В пособии рассмотрены машины для выполнения земляных работ, подъемно-транспортные машины, специальные грузозахватные приспособления, механизмы передвижения. Даны теоретические предпосылки расчета основных технологических параметров машин, приведены примеры расчетов и технические характеристики.

Пособие предназначено для студентов специальностей 270102, 270109 при изучении дисциплин «Механизация и автоматизация» и «Строительные машины».

УДК 69.002.51(07)

ISBN 978-5-9967-0186-5

© Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г.И.Носова, 2011

© Насыбуллин А.Г., Пермяков М.Б.  
Попова Н.А., 2011

## ВВЕДЕНИЕ

При выполнении технико-экономических расчетов, проектировании организации работ и сравнительном анализе строительных машин пользуются данными об их производительности и мощности привода.

Различают конструктивную, техническую и эксплуатационную производительности машин.

Повышение производительности машин улучшает их эксплуатационно-экономические показатели, сокращает расход энергии и топлива, снижает удельную металлоемкость и обеспечивает экономию сырьевых и энергетических ресурсов.

Примеры расходов, приведенные в данном учебном пособии, позволяют выбирать оборудование для реальных условий работы, рассчитывать и конструировать элементы привода, определять основные параметры и т.д. Задача настоящего пособия состоит в том, чтобы оказать помощь студентам строительных специальностей и инженерно-техническим работникам в получении знаний и практического опыта в выполнении расчетов по курсу «Механизация и автоматизация строительного производства».

## 1. ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ

### 1.1. Бульдозеры и рыхлители

На базовой машине, гусеничном тракторе 3 (рис. 1.1), может быть установлено бульдозерное 1 и рыхлительное 5 оборудование. Для изменения положения навесного рабочего оборудования служат гидроцилиндры 2, 4.

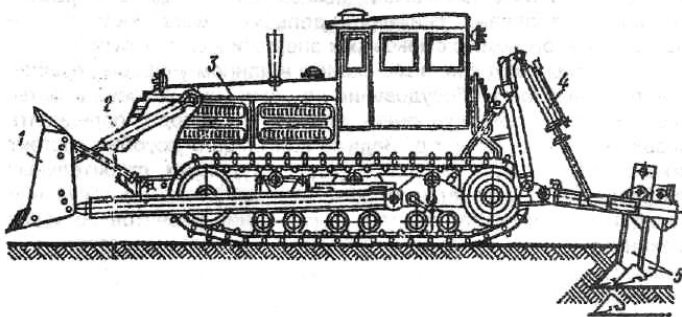


Рис. 1.1. Навесное оборудование бульдозера и рыхлителя на гусеничном тракторе

Производительность бульдозера, м<sup>3</sup>/ч, при разработке и перемещении грунта определяется по формуле

$$\Pi = 0,5a \cdot b \cdot h \cdot \psi \cdot n \cdot \frac{l}{k_p}, \quad (1.1)$$

где  $a = \frac{h}{\operatorname{tg}\varphi}$  – ширина призмы грунта впереди отвала, м;

$b, h$  – длина и высота отвала, м;

$\varphi$  – угол естественного откоса грунта в движении, град;

$\psi$  – коэффициент, учитывающий потери грунта, принимается равным 1-0,005L;

$L$  – дальность перемещения грунта, м;

$n = \frac{3600}{t_{\bar{o}}}$  – число циклов за 1 ч работы;

$t_{\bar{o}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$  – продолжительность цикла, с;

$t_1 = \frac{\ell_1}{V_1}$  – время резания грунта, с;

$\ell_1$  – длина пути резания (обычно 6–15 м);

$V_1$  – скорость движения трактора при резании грунта, м/с;

$t_2 = \frac{\ell_2}{V_2}$  – время перемещения грунта, с;

$\ell_2$  – путь перемещения, м;

$V_2$  – скорость трактора при перемещении грунта, м/с;

$t_3 = \frac{\ell_1 + \ell_2}{V_3}$  – время обратного хода трактора, с;

$V_3$  – скорость движения трактора при обратном его ходе, м/с;

$t_4$  – дополнительное время, с (в дополнительное время входит время на переключение скоростей до 5 с, на подъем и опускание отвала до 4 с, на разворот трактора до 10 с, на распределение грунта и др.);

$k_p$  – коэффициент разрыхления грунта, т.е. отношение объема рыхлого грунта к объему того же грунта в плотном теле (1,12 – для песчаных; 1,22 – для суглинистых; 1,3 – для глинистых грунтов).

Скорость движения трактора (табл. 1.1) зависит от сопротивлений, возникающих при работе бульдозера.

Таблица 1.1

Основные параметры гусеничных тракторов

| Показатель                      | Т-180                             | ДЭТ-250   | Т-220  | Т-330                                     | Т-500  |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------|--|---|--|
| Марка двигателя                 | СМД-14                            | Д-75      | А-01М  | Д-10                                      | Д-160  |
| Мощность двигателя, кВт         | 55                                | 55        | 100  | 74  | 118  |
| Тяговый класс                   | 3                                 | 3         | 4  | 10  | 10   |
| Скорость движения, км/ч: вперед | 5; 5,58;<br>6,21;<br>6,9;<br>7,67 | 2,14–10,6 | 3,47;<br>4,03;<br>4,66; 5,2;<br>6,35;<br>7,37;   | 2,36;<br>3,78;<br>4,51;<br>6,45;<br>10,15 | 3,7; 4,4;<br>5,13; 6,1;<br>7,44; 8,87;<br>10,27;<br>12,2 |
| назад                           | 3,42–<br>4,28                     | 1,76–5,86 | 8,53;<br>9,52<br>4,69;<br>5,47;<br>6,34;<br>7,04 | 2,79;<br>4,46;<br>5,34;<br>7,61           | 3,56; 4,96;<br>7,14; 9,9                                 |
| Габариты, мм:                   |                                   |           |  |   |  |
| длина                           | 3075                              | 3600      | 4475   | 4313                                      | 4390   |
| ширина                          | 1740                              | 1840      | 1952   | 2460                                      | 2475   |
| высота                          | 2273                              | 2300      | 2568   | 3059                                      | 3080   |
| Масса трактора, т               | 5,26                              | 5,9       | 8  | 12,1                                      | 14   |

Окончание табл. 1.1

| Показатель                      | Т-180                                    | ДЭТ-250  | Т-220  | Т-330    | Т-500     |
|---------------------------------|--|--|--------|----------|-----------|
| Марка двигателя                 | Д-180                                    | В-30 В   | ДВ-220 | 8ДВТ-330 | 12ДВТ-500 |
| Мощность двигателя, кВт         | 130                                      | 220  | 160    | 240      | 370       |
| Тяговый класс                   | 15                                       | 25   | 15     | 25       | 35        |
| Скорость движения, км/ч: вперед |  |  |        |          |           |
|                                 | 2,86;<br>5,06;<br>6,9;<br>9,46;<br>13,09 | Рабочая<br>2,3–15<br>Транс-<br>портная<br>3,5–24,5 | 0–17.6 | 0–16.4   | 0–16,2    |
| назад                           | 3,21–<br>8,19                            | То же  | 0–14.6 | 0–13.7   | 0–13,5    |
| Габариты, мм:                   |  |  |        |          |           |
| длина                           | 5800                                     | 6236   | 5180   | 5515     | 7870      |
| ширина                          | 2740                                     | 3160   | 2795   | 2950     | 3150      |
| высота                          | 2800                                     | 3180   | 3020   | 3130     | 3385      |
| Масса трактора, т               | 14,35                                    | 25   | 17     | 25       | 35        |

Усилие, которое необходимо преодолеть трактору при работе с бульдозером,

$$W = \sum W_i = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \quad (1.2)$$

где  $W_i$  – сопротивление грунта резанию (табл.1.2);

$$W_i = b \cdot \sin \alpha \cdot c \cdot k, \quad (1.3)$$

где  $b$  – длина отвала, м;

$\alpha$  – угол поворота отвала в плане относительно оси трактора, град;

$c$  – толщина срезаемого слоя, м;

$k$  – коэффициент сопротивления грунта резанию для бульдозеров;

$W_2$  – сопротивление волочению призмы грунта впереди отвала;

$$W_2 = 0,5h \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi} b \cdot \sin \alpha \cdot \gamma \cdot g (\mu \pm i), \quad (1.4)$$

где  $\varphi$  – угол естественного откоса грунта ( $\varphi \approx 40 - 45^\circ$ );

$\gamma$  – плотность грунта;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\mu$  – коэффициент трения грунта по грунту ( $\mu = 0,4-0,8$ , причем меньшие значения берут для влажных и глинистых грунтов);

Таблица 1.2  
Значение удельных сопротивлений грунта резанию, МПа

| Наименование грунта  | Категория | Объемная масса в плотном теле, кг/м <sup>3</sup> | Коэффициент разрыхления | Удельное сопротивление грунта резанию |              |
|--|-----------|--|-------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  |           |  |                         | Нож бульдозера                        | Нож скрепера |
| Песок рыхлый, сухой  | I         | 1200–1600  | 1,05–1,1                | 0,01–0,03                             | 0,02–0,04    |
| Песок влажный, супесь, суглинок разрыхленный                     | I         | 1400–1800  | 1,1–1,2                 | 0,02–0,04                             | 0,05–0,1     |
| Суглинок, средний и мелкий гравий, легкая глина                  | II        | 1500–1800  | 1,15–1,25               | 0,06–0,08                             | 0,09–0,18    |
| Глина, плотный суглинок  | III       | 1600–1900  | 1,2–1,3                 | 0,1–0,16                              | 0,16–0,3     |
| Тяжелая глина, сланцы, суглинок со щебнем, гравием               | IV        | 1900–2000  | 1,25–1,3                | 0,15–0,25                             | 0,3–0,4      |
| Цементировавшийся строительный мусор, взорванная скальная порода | V         | 1900–2200  | 1,3–1,4                 | 0,2–0,4                               | –            |

$i$  – уклон пути;

$W_3$  – сопротивление трению грунта по отвалу

$$W_3 = 0,5b \cdot h^2 \cdot \gamma \cdot g \cdot \cos^2 \delta \cdot \mu', \quad (1.5)$$

где  $\delta$  – угол резания ( $\delta \approx 50 - 55^\circ$ );

$\mu'$  – коэффициент трения грунта по стали ( $\mu' = 0,7 - 0,8$  для глины,  $\mu' = 0,5 - 0,6$  – для суглинка и супеси,  $\mu' = 0,35 - 0,5$  - для песка);

$W_4$  – сопротивление движению бульдозера с трактором;

$$W_4 = G(w_0 \pm i), \quad (1.6)$$

где  $G$  – вес бульдозера с трактором;

$w_0$  – удельное сопротивление движению (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Удельное сопротивление движению

| Дорожные условия      | Пневмоко-<br>лесный ход | Гусеничный<br>ход | Колесная<br>прицепная<br>машина |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Свеженасыпанный грунт | 0,3                     | 0,15              | 0,1                             |
| Плотный грунт         | 0,2                     | 0,12              | 0,1                             |
| Ледяная дорога        | 0,03                    | 0,05              | 0,03                            |
| Снежная дорога        | 0,15                    | 0,14              | 0,1                             |
| Щебеночное покрытие   | 0,04                    | 0,05              | 0,05                            |
| Бетонное покрытие     | 0,02                    | 0,05              | 0,02                            |

Машины находятся в движении без пробуксовывания при условии, что сцепная сила тяги больше окружного усилия на ободу ведущего колеса (звездочки) и общего сопротивления передвижению.

Производительность бульдозеров при планировочных работах,  $m^2/ч$ ,

$$П = \frac{1000}{k_2} V \cdot b \cdot \sin \alpha \cdot k_1, \quad (1.7)$$

где  $V$  – скорость движения бульдозера, км/ч;

$b$  – длина отвала, м;

$\alpha$  – угол установки отвала в плане по отношению к продольной оси трактора;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий перекрытие следов ( $k_1 = 0,8 - 0,85$ );

$k_2$  – число слоев планирования.

Производительность рыхлителей по объему грунта, подготавливаемого для транспортирования, м<sup>3</sup>/ч,

$$\Pi = \frac{1000V \cdot h_p \cdot b_p \cdot z \cdot k_1 \cdot k_2}{k_3 \cdot k_4}, \quad (2.1.8)$$

где  $V$  – скорость движения рыхлителя, км/ч;

$h_p$  – глубина рыхления, м;

$b_p$  – ширина рыхления одним зубом ( $b_p \approx 2-4h_p$ ), причем большие значения соответствуют материалам слоистой структуры с горизонтальным расположением слоев;

$z$  – число зубьев;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий снижение рабочей скорости ( $k_1 = 0,7-0,8$ );

$k_2$  – коэффициент, учитывающий уменьшение толщины разрыхляемого слоя грунта ( $k_2 = 0,6-0,8$ , причем меньшие значения соответствуют грунтам, образующим крупный скол, глыбы);

$k_3$  – число проходов по одному резу;

$k_4$  – число слоев рыхления в поперечных направлениях для подготовки грунта к транспортированию.

**Пример 1.1.** Определить производительность бульдозера при разработке грунта. Исходные данные: трактор Т-130, длина отвала  $b = 3,2$  м, высота отвала  $h = 1,3$  м. Масса трактора с навесным оборудованием  $m = 17280$  кг. Разрабатываемый грунт – плотный суглинок  $\gamma = 1700$  кг/м<sup>3</sup>. Место работы – горизонтальная площадка. Отвал перпендикулярен оси трактора  $\alpha = 90^\circ$ ;  $\eta_m$  – КПД трансмиссии.

**Решение.** Тяговое усилие, развиваемое трактором,  $N_{об} = 118$  кВт (160 л.с.),  $\eta_i = 0,8$  при скорости движения  $V = 3,7$  км/ч = 1,03 м/с.

$$T_N \approx 0,9P \cdot 0,9 \frac{1000N_{ДВ} \eta_m}{V} = 0,9 \frac{1000 \cdot 118 \cdot 0,8}{1,03} = 82600 \text{ Н} \quad 82,6 \text{ кН}.$$

Сила тяги по сцеплению  $T_{сц} = G_{сц} \varphi$ . При движении бульдозера по плотному грунту  $\varphi = 0,9$ .

$$T_{сц} = 17280 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 153000 \text{ Н} \quad 153 \text{ кН}.$$

Условие движения без буксования  $T_{сч} > T_N > W$ .

Соппротивление волочению призмы грунта впереди отвала на горизонтальной площадке при  $\varphi = 40^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$  и  $\mu = 0,4$  по формуле (1.4)

$$W_2 = 0,5 \cdot 1,3 \frac{1,3}{\operatorname{tg} 40^\circ} 3,2 \cdot 1700 \cdot 9,81 \cdot (0,4 \pm 0) = 21300 \text{ Н} = 21,3 \text{ кН}.$$

Соппротивление от трения грунта по отвалу по формуле (1.5).

$$W_3 = 0,5 \cdot 3,2 \cdot 1,3^3 \cdot 1700 \cdot 9,81 \cdot \cos^2 55^\circ \cdot 0,6 = 9300 \text{ Н} = 9,3 \text{ кН}.$$

Соппротивление движению бульдозера по формуле (1.6)

$$W_4 = 17280 \cdot 9,81 (0,12 \pm 0) = 20300 \text{ Н} = 20,3 \text{ кН}.$$

Свободная сила тяги (запас тягового усилия) по сцепному весу

$$T = T_{сч} - (W_2 + W_3 + W_4) = 153 - (21,3 + 9,3 + 20,3) = 102,1 \text{ кН}.$$

По мощности

$$T = T_N - (W_2 + W_3 + W_4) = 82,6 - (21,3 + 9,3 + 20,3) = 31,7 \text{ кН}.$$

Для дальнейших расчетов следует принимать меньшее значение. Расчетная глубина резания (толщина стружки грунта) из формулы (1.3)

$$c = W_1 / (b \cdot \sin \alpha \cdot k).$$

Для разрабатываемого грунта – плотного суглинка  $k = 0,14$  МПа (по табл.1.2).

В конце набора грунта

$$c = \frac{31700}{3,2 \cdot \sin 90^\circ \cdot 0,14 \cdot 10^6} = 0,07 \text{ м}.$$

В начале копания, когда все тяговое усилие расходуется только на резание грунта и перемещение бульдозера, свободная сила тяги

$$T = T_N - W_4 = 82,6 - 20,3 = 62,3 \text{ кН}.$$

Отвал бульдозера может быть опущен на глубину

$$c = \frac{62300}{3,2 \cdot \sin 90^\circ \cdot 0,14 \cdot 10^6} = 0,095 \text{ м}.$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$c = \frac{0,07 + 0,095}{2} = 0,082 \text{ м}.$$

Объем грунта в призме волочения

$$V_{np} = 0,5h \frac{h}{tg\phi} b \quad l_1 \cdot b \cdot c .$$

Длина участка набора грунта

$$l_1 = \frac{0,5h^2}{tg\phi \cdot c} = \frac{0,5 \cdot 1,3^2}{tg40^\circ \cdot 0,082} = 12 \text{ м}$$

Выбираем скорости движения на участках: набора грунта  $V_n = 3,7$  км/ч, транспортирования  $V_T = 4,4$  км/ч, движения задним ходом  $V_{z.x} = 4,96$  км/ч. Продолжительность элементов цикла  $t = \frac{l_i}{V_i}$ ,

где  $l_i$  – длина участка;

$V_i$  – скорость движения машины.

Продолжительность набора грунта

$$t_1 = \frac{3,6 \cdot 12}{3,7} = 11,7 \text{ с} .$$

Продолжительность транспортирования грунта

$$t_2 = \frac{3,6 \cdot 40}{4,4} = 32,7 \text{ с} .$$

Продолжительность движения задним ходом

$$t_3 = \frac{3,6 \cdot 52}{4,96} = 37,7 \text{ с} .$$

Дополнительное время на переключение скоростей, разгрузку и распределение грунта  $t_4 = 30$  с. Продолжительность цикла

$$t = \sum t_i = 11,7 + 32,8 + 37,7 + 30 = 112,2 \text{ с} .$$

Число циклов за один час работы

$$n = \frac{3600}{t} = \frac{3600}{112,2} = 32,08 \text{ цикла} .$$

Коэффициент, учитывающий потери грунта,

$$\psi = 1 - 0,005L = 1 - 0,005 \cdot 40 = 0,8 .$$

Производительность бульдозера по формуле (1.1)

$$P = 0,5 \frac{h}{tg\phi} b h \psi n \frac{1}{k_p} = 0,5 \frac{1,3}{tg40^\circ} 3,2 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 32,08 \frac{1}{1,22} = 67,8 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

**Пример 1.2.** Определить сменную производительность рыхлителя, подготавливающего грунт для дальнейшей его разработки бульдозером, и время работы бульдозера. Разрабатываемый грунт – глинистые сланцы. Число слоев рыхления  $k_4 = 3$ , число

проходов по одному резу  $k_3 = 1$ . Базовая машина – трактор Т-100М, число рыхлительных зубьев  $z = 3$ , глубина рыхления  $h_p = 300$  мм. Толщина разрабатываемого слоя  $h = 1$  м. Форма участка – квадрат. Дальность транспортирования грунта бульдозером  $L$  – длина стороны участка. Длина пути набора грунта бульдозером  $l_1 = 12$  м. Размеры отвала  $b = 3,97$  м,  $h = 1$  м.

**Решение.** Скорость трактора  $v = 2,36$  км/ч. Ширина полосы рыхления  $b_p \approx (2 - 4)h_p$ , для сланцев  $b = 4 \cdot 0,3 = 1,2$  м.

Производительность рыхления по формуле (1.8)

$$П = \frac{1000 \cdot 2,36 \cdot 0,3 \cdot 1,2 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 0,6}{1 \cdot 3} = 407,8 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Скорость бульдозера  $V = 2,36$  км/ч  $= 0,66$  м/с.

Время набора грунта бульдозером

$$t_1 = l_1 / V_1 = 12 / 0,66 = 18 \text{ с}.$$

Сменная производительность рыхлителя при коэффициенте использования машины в течение смены  $k_b = 0,8$ .

$$П_3 = 8,2 \text{ Нк}_b = 8,2 \cdot 407,8 \cdot 0,8 = 2675,16 \text{ м}^3 / \text{см}.$$

При толщине разрабатываемого слоя грунта  $H = 1$  м, площадь разрабатываемого участка

$$S = \frac{П_3}{H} = \frac{2675,16}{1} = 2675 \text{ м}^2.$$

Длина стороны участка  $L = \sqrt{S} = \sqrt{2675} = 51,7 \text{ м}.$

Время перемещения грунта на второй скорости трактора

$$t_2 = l_2 / V_2 = \frac{51,7 \cdot 3,6}{3,78} = 49,24 \text{ с}.$$

Время возвращения бульдозера задним ходом

$$t_3 = \frac{(l_1 + l_2) \cdot 3,6}{V_3} = \frac{(12 + 51,7) \cdot 3,6}{3,42} = 67,05 \text{ с}.$$

Дополнительные затраты времени  $t_4 = 30$  с.

Продолжительность цикла

$$t_u = \sum t_i = 18 + 49 + 67 + 30 = 164 \text{ с}.$$

Число циклов за один час работы

$$n = \frac{3600}{t_u} = \frac{3600}{164} = 21,95.$$

Коэффициент, учитывающий потери грунта при транспортировании,

$$\psi = 0,005L = 0,005 \cdot 16 = 0,08.$$

Производительность бульдозера

$$P_3 = 0,5 \frac{h^2}{tg\alpha} b \psi n \frac{k_k}{k_p} = 0,5 \frac{1^2}{tg40^\circ} 3,97 \cdot 0,08 \cdot 21,95 \frac{0,8}{1,3} = 29,33 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Для перемещения разрыхленного грунта потребуется

$$t = \frac{2675}{29,33} = 91,2 \text{ ч}.$$

## 1.2. Скреперы

Скреперы – самоходные или прицепляемые к гусеничным тракторам (колесным тягачам) машины, предназначенные для послойной срезки, транспортирования и выгрузки грунта (рис.1.2).

Рабочий процесс – резание и набор грунта, транспортирование к месту укладки, выгрузка и возвращение к месту набора – представляет собой ряд последовательно повторяющихся операций (рис.1.3). Ковш опускается на грунт, врезается в него под действием силы трактора (тягача) или собственного двигателя и снимает слой грунта (I). Наполненный ковш поднимается на ходу в транспортное положение (II) и перемещается к месту выгрузки, которая осуществляется также на ходу путем выталкивания грунта подвижной задней стенкой ковша или путем наклона его днища, а в некоторых моделях – опрокидыванием ковша (III).

Производительность скреперов ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) определяют по формуле

$$P = nqk_n \frac{1}{k_p}, \quad (1.9)$$

где  $n = 3600 / t_u$  – число циклов за 1 ч работы;

$k_i$  – коэффициент наполнения ковша грунтом ( $k_i = 0,8 - 1,2$ );

$k_p$  – коэффициент разрыхления грунта ( $k_p = 1,1 - 1,3$ );

$t_u$  – продолжительность цикла, с;

$$t_u = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \quad (1.10)$$

где  $t_1, t_2, t_3, t_4$  – соответственно время набора грунта, груженого хода, разгрузки, холостого хода, с;

$t_5$  – продолжительность поворота, переключения передач скоростей и другие затраты времени.

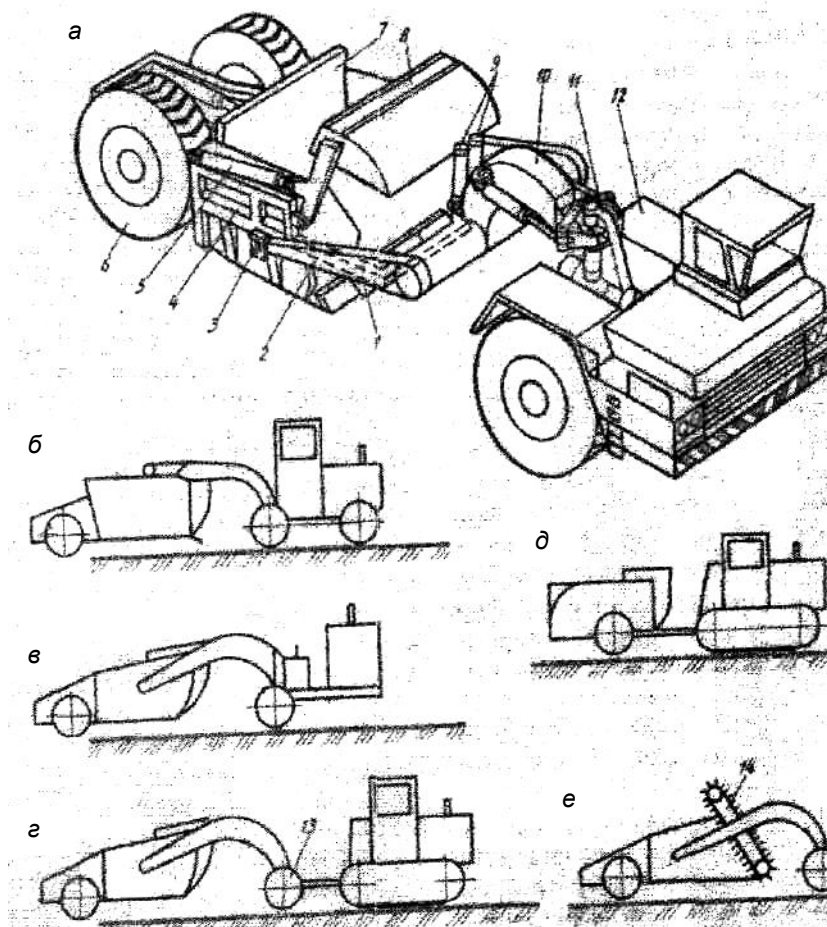


Рис. 1.2. Общий вид самоходного скрепера:  
а – самоходный скрепер;  
б, в, г, д – схемы соединения с тягачом;  
е – скрепер с принудительной загрузкой ковша  
скребковым элеватором

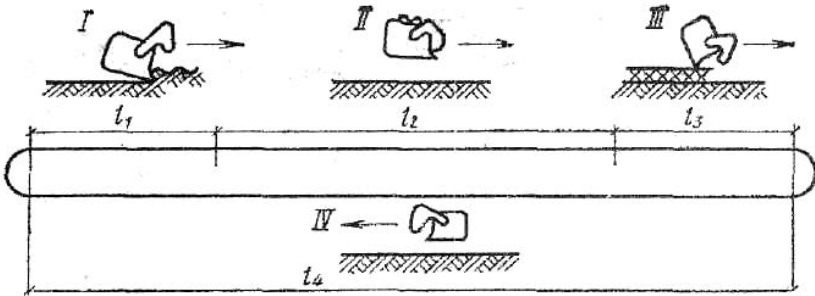


Рис.1.3. Цикл работы скрепера

Продолжительность каждого элемента цикла

$$t_i = \ell_i / V_i, \quad (1.11)$$

где  $\ell$  – длина соответствующего участка, м;

$V_i$  – скорость движения скрепера на этом участке, м/с.

Длина участка набора грунта

$$\ell_1 = \frac{qk_u}{k_p b c}, \quad (1.12)$$

где  $q$  – геометрическая вместимость ковша скрепера, м<sup>3</sup>;

$b$  – ширина срезаемой полосы, м;

$c$  – толщина срезаемого слоя грунта, м.

Набор грунта скрепером производится на участках длиной 12–30 м. Разгружаются скреперы на участках длиной 5–15 м. Скорость движения скрепера зависит от возникающих сопротивлений грунтов и мощности трактора.

Наибольшее усилие, потребное для перемещения скрепера, возникает во время набора грунта. Это усилие определяется по формуле

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5, \quad (1.13)$$

где  $W_1$  – сопротивление грунта резанию;

$$W_1 = bck, \quad (1.14)$$

где  $k$  – удельное сопротивление грунта резанию (принимать значения  $k$  свыше 0,1–0,12 МПа не рекомендуется, более плотные грунты следует предварительно рыхлить);

$W_2$  – сопротивление движению призмы волочения впереди скрепера;

$$W_2 = ybh^2 \gamma g (\mu \pm i), \quad (1.15)$$

где  $y$  – отношение высоты призмы волочения к высоте грунта в ковше ( $y=0,5-0,7$ , причем большие значения для сыпучих грунтов);

$\gamma$  – объемная масса грунта, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – высота слоя грунта в ковше, м (табл. 1.4);

$\mu$  – коэффициент трения грунта по грунту ( $\mu = 0,3-0,5$ , причем большие значения для песчаных грунтов);

$i$  – уклон местности;

$W_3$  – сопротивление от веса срезаемого слоя, движущегося в ковше;

$$W_3 = bch\gamma g; \quad (1.16)$$

Таблица 1.4

Высота слоя грунта в ковше

|                                      |        |          |       |     |
|--------------------------------------|--------|----------|-------|-----|
| Объем ковша скрепера, м <sup>3</sup> | 3      | 6        | 10    | 15  |
| Высота слоя грунта в ковше, м        | 1–1,13 | 1,25–1,5 | 1,8–2 | 2,4 |

$W_4$  – сопротивление от внутреннего трения грунта в ковше

$$W_4 = bh^2 \chi g, \quad (1.17)$$

где  $\chi$  – коэффициент, учитывающий влияние рода грунта ( $\chi=0,24-0,31$  – глина;  $\chi=0,37-0,44$  – суглинок;  $\chi=0,46-0,5$  – песок);

$W_5$  – сопротивление движению скрепера

$$W_5 = (G_c + G_{cp}) (W_0 \pm i), \quad (1.18)$$

где  $G_c$  – вес скрепера;

$G_{cp}$  – вес грунта в ковше;

$W_0$  – удельное сопротивление колес скрепера качению ( $W_0=0,15-0,2$  – для плотных грунтов;  $W_0=0,25-0,3$  – для сыпучих песков).

**Пример 1.3.** Определить производительность скрепера прицепного к трактору Т-130. Геометрический объем ковша  $q=7$  м<sup>3</sup>, вместимость ковша с «шапкой»  $V=9$  м<sup>3</sup>. Дальность транспортиро-

вания  $L=400$  м. Ширина ковша  $b=2,65$  м, грунт разрабатывается под уклон  $i=0,03$ . Разрабатываемый грунт – суглинок,  $\gamma=1400$  кг/м<sup>3</sup>,  $k=0,06$  МПа. Масса скрепера  $m_c=7$  т. Толщина срезаемого слоя  $c=0,1$  м.

**Решение.** Сила тяги по сцеплению при движении по плотно-му грунту

$$T_{cy} = G_{cy} \cdot \phi = 1400 \cdot 9,81 \cdot 0,8 = 11000 \text{ Н} = 110 \text{ кН}$$

Сопротивление грунта резанию при толщине срезаемого слоя  $c=0,1$  м

$$W_1 = 2,65 \cdot 0,1 \cdot 0,06 \cdot 10^6 = 15800 \text{ Н} = 15,8 \text{ кН}$$

Сопротивление движению призмы волочения

$$W_2 = 0,5 \cdot 2,65 \cdot 1,4^2 \cdot 1400 \cdot 9,81 \cdot (0,3 - 0,03) = 9600 \text{ Н} = 9,6 \text{ кН}.$$

Сопротивление передвижению слоя грунта в ковше

$$W_3 = 2,65 \cdot 0,1 \cdot 1,4 \cdot 1400 \cdot 9,81 = 5100 \text{ Н} = 5,1 \text{ кН}.$$

Сопротивление от внутреннего трения грунта в ковше

$$W_4 = 2,65 \cdot 1,4^2 \cdot 1400 \cdot 9,81 \cdot 0,38 = 27200 \text{ Н} = 27,2 \text{ кН}.$$

Вес скрепера

$$G_o = m_c \cdot g = 7000 \cdot 9,81 = 69000 \text{ Н} = 69 \text{ кН}.$$

Вес грунта в ковше скрепера

$$G_{cp} = V \cdot \gamma \cdot g = 9 \cdot 1400 \cdot 9,81 = 124000 \text{ Н} = 124 \text{ кН}.$$

Сопротивление движению скрепера

$$W_5 = (69000 + 124000) \cdot (0,1 - 0,03) = 13510 \text{ Н} = 13,5 \text{ кН}.$$

Суммарное сопротивление при наборе грунта

$$W = \sum W_i = 15,8 + 9,6 + 5,1 + 27,2 + 13,5 = 71,2 \text{ кН}.$$

Тяговое усилие трактора Т-130 при скорости  $V = 3,7$  км/ч = 1,05 м/с.

$$T_N = 0,9 P_o = 0,9 N_{об} \eta_M / V = 0,9 \cdot 18 \cdot 0,82 / 1,05 = 82,6 \text{ кН}.$$

Условие движения без буксования

$$T_{cy} = 110 \text{ кН} > P_o = 92 \text{ кН} > W = 71,2 \text{ кН}.$$

При невыполнении требования условия движения необходимо изменение толщины срезаемого слоя грунта и скорости движения при применении толкача при наборе грунта.

Уточнение скоростей движения скрепера на отдельных участках, км/ч: набор грунта  $V_1 = 3,7$ ; груженный ход  $V_2 = 7,44$ ; разгруз-ка ковша  $V_3 = 4,4$ ; холостой ход  $V_4 = 8,87$ .

В начале набора грунта толщина срезаемого слоя может достигать 300 мм, что позволяет принять среднее значение толщины срезаемого слоя грунта  $C = 200$  мм.

Длина участка набора грунта

$$l_1 = \frac{7 \cdot 1,28}{1,2 \cdot 2,56 \cdot 0,2} = 15 \text{ м} .$$

Длина участка разгрузки ковша

$$l_2 = \frac{7 \cdot 1,28}{1,2 \cdot 2,56 \cdot 0,25} = 12 \text{ м} .$$

Время набора грунта

$$t_1 = \frac{15 \cdot 3,6}{3,7} = 15 \text{ с} .$$

Время груженого хода

$$t_2 = \frac{400 \cdot 3,6}{7,44} = 193 \text{ с} .$$

Время разгрузки ковша

$$t_3 = \frac{12 \cdot 3,6}{4,4} = 10 \text{ с} .$$

Время холостого хода

$$t_4 = \frac{(15 + 400 + 12) \cdot 3,6}{8,87} = 174 \text{ с} .$$

Дополнительное время, затрачиваемое на развороты и на переключение скоростей,  $t_5 = 60 \text{ с} .$

Продолжительность цикла

$$t_y = \sum t_i = 15 + 193 + 10 + 174 + 60 = 452 \text{ с}$$

Число циклов за 1 ч работы

$$n = 3600 / t_y = 3600 / 452 \approx 8 .$$

Производительность скрепера

$$П = qn k_H / k_p = 7 \cdot 8 \cdot 1,28 / 1,2 = 60 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

### 1.3. Одноковшовые экскаваторы

Производительность экскаватора зависит от конструктивных качеств машины, уровня организации производства земляных работ, состояния и качества грунта и забоя, квалификации машиниста, качества системы управления экскаватора и др.

Техническая производительность экскаватора – это его максимально возможная производительность при непрерывной работе в определенных условиях, которые учитываются коэффициентами: наполнения ковша, влияния разрыхления грунта и влияния продолжительности цикла.

Для определения технической производительности одноковшового экскаватора пользуются формулой

$$\Pi_T = qnk_H / k_p, \quad (1.19)$$

где  $\Pi_T$  – техническая производительность, м<sup>3</sup>/ч;

$n = 3600 / t_{ци}$  – число циклов за 1 ч работы;

$t_{ци}$  – продолжительность цикла по хронометражным наблюдениям, с;

$k_H$  – коэффициент наполнения ковша грунтом ( $k_H = 0,6-1,2$ );

$k_p$  – коэффициент разрыхления грунта ( $k_p = 1,1-1,3$ ).

Эксплуатационную производительность того же экскаватора определяют по формуле

$$\Pi_э = \Pi_T \cdot k_B, \quad (1.20)$$

где  $\Pi_э$  – эксплуатационная производительность, м<sup>3</sup>/ч;

$k_B$  – коэффициент использования машины по времени ( $k_B = 0,8-0,85$ ).

Ориентировочные значения продолжительности цикла одноковшового экскаватора показаны в табл. 1.5

### Определение основных параметров экскаваторов с гидравлическим приводом

При расчете рабочего оборудования экскаваторов находят длину стрелы С и рукоятя Р, радиус R, координаты пяты стрелы X и Y (рис. 1.4).

Таблица 1.5  
Ориентировочная продолжительности цикла одноковшового экскаватора, с

| Объем ковша экскаватора, м <sup>3</sup> | В отвал       |          | В транспорт   |          |
|---|---------------|----------|---------------|----------|
|   | Прямая лопата | Драглайн | Прямая лопата | Драглайн |
| 0,15                                    | 13,6–15       | 17–18    | 14–16         | 18–20    |
| 0,3                                     | 11–15         | 15–18    | 11,5–16       | 17–21    |
| 0,65                                    | 12–15         | 14–21    | 12,5–18       | 23–25    |
| 1                                       | 20–22         | 23–25    | 21–23         | 24–26    |
| 1,25                                    | 14–20         | U–27     | 15–21         | 18–28    |
| 2                                       | 22–24         | 25–27    | 24–26         | 27–29    |
| 2,5                                     | 22–23         | 32–34    | 23–25         | 34–36    |

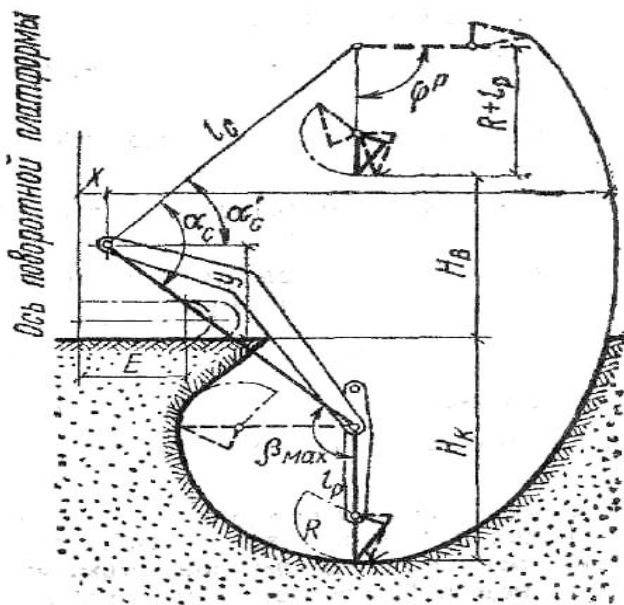


Рис. 1.4. Схема к определению параметров шарнирно-сочлененного оборудования обратной лопаты

Размеры элементов рабочего оборудования по длине должны соответствовать заданным предельным рабочим параметрам экскаватора – максимальной глубине копания  $H_K$  и максимальной высоте выгрузки  $H_B$  при опущенной рукояти. Между  $H_K$  и  $H_B$  существует зависимость

$$H_B = \sqrt{H_K \cdot b \cdot k_p}, \quad (1.21)$$

где  $b$  – ширина ковша;

$k_p$  – коэффициент разрыхления грунта.

Длина стрелы

$$l_c = \frac{H_K + H_B}{2 \sin \alpha_c / 2}, \quad (1.22)$$

где  $\alpha_{\bar{n}}$  – угол поворота стрелы.

Увеличение угла  $\alpha_c$  позволяет сократить длину стрелы и уменьшить массу рабочего оборудования. Рекомендуемые углы поворота стрелы  $\alpha_c = 90-95^\circ$ .

Расстояние У от оси поворота стрелы до уровня расположения машины при  $\alpha_c = 90^\circ$  и  $\alpha_c' = \alpha_c / 2$

$$l_c = 0,7l(H_K + H_B) ,$$

$$\text{т.е. } Y = R + l_p - 0,5(H_K - H_B) . \quad (1.23)$$

Для уменьшения моментов инерции поворотной платформы и опрокидывающего момента, действующего на экскаватор при торможении рабочего оборудования, следует стремиться к уменьшению радиуса копания  $R_K$  при неизменной глубине копания  $H_K$ .

Последнее возможно при смещении оси крепления стрелы относительно оси поворотной платформы. При этом крайнюю к экскаватору точку забоя нельзя размещать ближе оси передней звездочки гусеничного хода.

Расстояние X находят по формуле

$$X = E + R + i_p - 0,71l_c , \quad (1.24)$$

где E – половина базы машины.

Максимальное усилие копания поворотом ковша

$$P_{max} = Aq / R , \quad (1.25)$$

где A – заданная энергоемкость процесса копания в расчетном грунте, отнесенная к объему ковша;

q – объем ковша.

Радиус приложения сил на кромке ковша R находят из соотношения, связывающего объем ковша q и его ширину b.

$$R \approx 1,5\sqrt{q/b} , \quad (1.26)$$

$$\text{где } b = 1,7\sqrt[3]{q} - 0,5 . , \quad (1.27)$$

Для экскаваторов II–V размерных групп результаты расчетов приведены в табл.1.6.

Таблица 1.6

Параметры экскаваторов с гидравлическим приводом

| Параметры                            | Размерные группы |     |      |     |
|--------------------------------------|------------------|-----|------|-----|
|                                      | II               | III | IV   | V   |
| Объем ковша, м <sup>3</sup>          | 0,25             | 0,4 | 0,65 | 1   |
| Работа на копание, кДж               | 70               | 112 | 182  | 280 |
| Радиус ковша, м                      | 0,95             | 1,1 | 1,3  | 1,5 |
| Максимальное усилие копания, кН      | 71               | 97  | 133  | 178 |
| Максимальный момент при копании, кНм | 67               | 107 | 173  | 268 |

Полный угол поворота ковша относительно рукояти выбирают таким, чтобы угол заброса ковша за ось рукояти был 15–20° и при повороте рукояти на выгрузку из ковша не высыпался грунт. Полный угол поворота ковша принимают в пределах 140–160°. Можно считать, что на режущую кромку ковша экскаватора с гидравлическим приводом при копании поворотом рукояти действуют те же сопротивления, что и при работе экскаваторов с канатным приводом.

Путь наполнения ковша обратной лопаты

$$L_k \approx 1,55^A \sqrt{m_{\text{э}}}, \quad (1.28)$$

где  $m_{\text{э}}$  – масса экскаватора, т.

Зная работу, затрачиваемую на копание  $A_k$ , можно записать среднее расчетное значение усилия копания в виде

$$P_{\text{cp}} = A_k / L_k. \quad (1.29)$$

За расчетный принимают режим работы в конце копания, т.е. при совпадении максимального момента резания с моментом от веса рабочего оборудования.

Длину рукояти с ковшом  $L$  следует считать равной пути наполнения ковша  $L_{\text{э}}$ . Момент на рукояти  $M_{\text{pi}}$  от усилия копания с учетом масс рабочего оборудования и грунта находят по формуле

$$M_{\text{pi}} = P_{\text{cp}} \left( 0,5 + \frac{\phi_i}{\phi_{\text{макс}}} \right) (l_p + R) + \sum M_{\phi_i}. \quad (1.30)$$

Так как  $P_{\text{cp}} = \frac{A_k}{L_k}$  и  $L_k = l_p + R$ ,

$$M_{\text{pi}} = A_k \left( 0,5 + \frac{\phi_i}{\phi_{\text{макс}}} \right) + \sum M_{\phi_i}, \quad (1.31)$$

где  $p$  – длина рукояти;

$M_{\phi_i}$  – сумма моментов от веса рабочего оборудования и грунта при заполнении ковша, пропорциональная углу поворота рукояти  $\phi_i$ .

### Расчет рабочего оборудования

Рабочее оборудование экскаватора включает стрелу, рукоять и ковш с гидроцилиндрами. Гидроцилиндр рукояти (рис. 1.5) шарнирно прикреплен к стреле в точке О. Шток гидроцилиндра присоединен к рукояти в точке С. Рукоять соединена со стрелой в точке Д. В конце рукояти, в точке А, приложена внешняя нагрузка

Q. Вес рукояти  $G_p$  приложен к центру тяжести рукояти в точке В. Вес гидроцилиндра со штоком  $C_y$  приложен в точке Е.

Рукоять можно рассматривать как балку длиной  $a$ , опирающуюся в точках Д и С. Вес гидроцилиндра со штоком в случае превращения его в одно звено распределится между точками О и С, тогда

$$G_{y.o} = G_y(l_5 - l_4) \frac{1}{l_5}; \quad (1.32)$$

$$G_{y.o} = G_y \frac{l_4}{l_5}. \quad (1.33)$$

От веса рукояти  $G_p$  и от внешней силы Q в точках О и С возникнут реактивные силы

$$R_c = (G_p l_2 + Q l_1) / \frac{1}{l_3}; \quad (1.34)$$

$$R_D = G_p(l_2 - l_3) + Q(l_1 - l_3) / \frac{1}{l_3}. \quad (1.35)$$

Зная действующие нагрузки и углы расположения отдельных элементов рабочего оборудования, можно определить силы, возникающие в этих элементах в продольном и поперечном направлениях.

При расчете штока гидроцилиндра рукояти (рис. 1.5) необходимо знать усилие, сжимающее шток. В данном случае

$$P_u = \frac{Q l_1 + G_p l_2}{l_3} \cos \theta. \quad (1.36)$$

При расчете элементов крепления гидроцилиндра рукояти к стреле в точке О нужно знать усилия, передаваемые от рукояти и веса гидроцилиндра. Общее усилие, действующее в точке О по направлению оси гидроцилиндра

$$P_y = P_u + G_y \cos \beta. \quad (1.37)$$

Определение необходимого движущего усилия привода (в рассматриваемом случае, отличающемся от изображенного на рис. 1.4, называют прямой задачей. В обратной задаче по известной движущей силе, например, по развиваемой гидроцилиндром силе, находят допустимое значение полезного сопротивления – внешней силы Q.

**Копание без поворота ковша.** Стрела максимально опущена вниз, копают без поворота ковша при движении рукояти снизу вверх, этот участок траектории является наиболее нагруженным.



Из суммы моментов, действующих относительно точки В (шарнира рукоять – стрела), и по усилию в гидроцилиндре находят усилия на режущей кромке ковша. При этом считают, что отпор грунта

$$P_2 \approx 0,2P_1; \quad (1.38)$$

$$P_1 = \frac{1}{\rho} (P_{у.р} r_{у.р} - G_{к.зр} r_{к.зр} - G_p r_p), \quad (1.39)$$

где  $P_1$  – касательное усилие, действующее на кромке ковша при копании поворотом рукояти;

$\rho$  – радиус приложения усилия на кромке ковша при копании поворотом рукояти;

$P_{у.р}$  – усилие, действующее в гидроцилиндре рукояти;

$r_{у.р}$  – плечо приложения усилия в гидроцилиндре рукояти, м;

$G_p$  и  $G_{к.зр}$  – вес рукояти с гидроцилиндром ковша и ковша с грунтом;

$r_p$  и  $r_{к.зр}$  – плечи сил тяжести рукояти и ковша с грунтом, м.

По найденному усилию  $P_1$ , действующему на зубья ковша (режущую кромку ковша), и сумме моментов относительно точки А (пята стрелы), определяют реактивное усилие в гидроцилиндрах стрелы для всех ее расчетных положений по формуле

$$P_{у.с} = \frac{1}{r_{у.с}} (P_1 l_1 + P_c l_c + P_p l_p + G_{к.зр} l_{к.зр} - P_2 l_2), \quad (1.40)$$

где  $r_{у.с., 1, 2, с, р, к.зр}$  – плечи всех сил, действующих относительно точки А (рис. 1.7), м;

$R_{у.с}$  – усилие в гидроцилиндрах стрелы;

$G_c$  – вес стрелы с гидроцилиндрами стрелы и рукояти.

Результаты расчета активных и реактивных усилий для всех рассматриваемых положений сводятся в таблицу для того, чтобы можно было найти наиболее неблагоприятное расчетное положение.

Зная все усилия, действующие на рукоять  $P_{yc}$ ,  $P_{yp}$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $G_c$ ,  $G_p$ ,  $G_{к.зр}$ , а также их направления для всех расчетных положений и точек приложения, определяют реакции в шарнирах А и В.

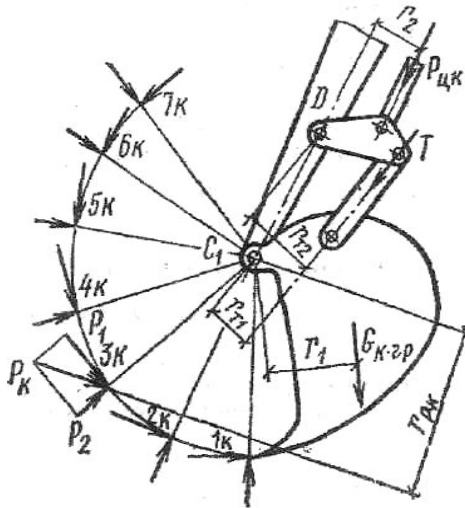


Рис. 1.7. Схема к определению усилий в тяге ковша

**Копание поворотом ковша.** На рабочее оборудование действуют наибольшие нагрузки в период копания гидроцилиндром ковша на максимальной глубине. Если наибольшее усилие на режущей кромке ковша не может быть достигнуто из-за ограниченной устойчивости экскаватора или ограничения реактивного усилия в гидроцилиндре рукояти, то за расчетное принимают положение, при котором рукоять повернута на угол, допускающий развитие максимального усилия на режущей кромке ковша, что соответствует расчетному положению рукояти  $2_p$  (см. рис. 1.6) и ковша  $3_k$  (см. рис. 1.7).

Максимальное реактивное усилие в цилиндре рукояти

$$P_{ц.р} = p_{\max} F_{ц.р}, \quad (1.41)$$

где  $p_{\max}$  – максимальное давление в цилиндре рукояти;

$F_{ц.р}$  – площадь поршневой полости цилиндра рукояти.

В этом случае при копании поворотом ковша на его режущей кромке развивается усилие

$$P_k = \frac{1}{\rho} (P_{ц.р} r_{ц.р} - G_{к.эп} r_{к.эп} - G_p r_p), \quad (1.42)$$

где  $\rho$  – плечо силы  $P_k$ , действующей относительно точки В, м.

$$\text{Нормальная составляющая } P_2 = 0,2P_1. \quad (1.43)$$

Усилие на режущей кромке ковша

$$P_k = \sqrt{P_2^2 + P_1^2}. \quad (1.44)$$

Реактивное усилие в цилиндрах стрелы

$$P_{у.с} = \frac{1}{r_{у.с}} (P_1 l_1 + G_c l_c + G_p l_p + G_{к.сп} l_{к.сп} - P_2 l_2). \quad (1.45)$$

При этом усилии, действующее в тяге ковша (относительно шарнира крепления ковша и рукояти),

$$T = \frac{1}{r_{Г1}} (P_{у.к} r_{у.к} - G_{к.сп} r_1). \quad (1.46)$$

Усилие в цилиндре ковша

$$P_{у.к} = T \cdot r_{Г2} / r_2, \quad (1.47)$$

где  $r_2$  – плечо силы  $P_{у.к}$  относительно точки Д;

$r_1$  – плечо силы тяжести ковша с грунтом относительно точки

$C_1$  – плечо усилия в тяге Т относительно точки Д.

В рассматриваемой конструкции оборудования экскаватора стрела состоит из верхней и нижней частей, соединенных тягой.

Максимальное усилие в тяге стрелы  $P_T$  (см. рис. 1.5) находят из суммы моментов относительно точки С от усилия в гидроцилиндре рукояти  $P_{у.р}$ , реакции  $R_k$  в точке крепления рукояти к верхней секции стрелы и веса верхней части стрелы.

Расчет одноковшового экскаватора включает также проверку устойчивости, определение потребной мощности привода, расчет гидроцилиндров рабочего оборудования, механизмов передвижения и поворота.

### **Определение основных параметров экскаваторов с гибкой системой подвешивания рабочего оборудования**

Соппротивление грунта копанию, касательное к траектории движения ковша, может быть определено по формуле

$$P_1 = F \cdot k, \quad (1.48)$$

где  $P = bc$  – площадь сечения снимаемой стружки грунта;

$k$  – удельное сопротивление грунта копанию;

$b$  – ширина режущей фромки ковша, м.

Для прямой лопаты

$$b \approx (0,95 - 1,05) \sqrt[3]{q}. \quad (1.49)$$

Для драглайна

$$b \approx (1,15 \dots 1,2) \sqrt[3]{q}, \quad (1.50)$$

где  $q$  – объем ковша, м<sup>3</sup>;

$c$  – толщина срезаемого слоя грунта, м.

Для прямой лопаты

$$c_{\text{макс}} = qk_n / (H_в sk_p), \quad (1.51)$$

где  $H_в$  – высота оси напорного вала;

$k_n$  – коэффициент разрыхления.

Для драглайна

$$c = q(1 + \psi) / (k_n l_k bk_p), \quad (1.52)$$

где  $l_k$  – длина ковша, м;

$$l_k \approx (1,35 - 1,5) \sqrt[3]{q}; \quad (1.53)$$

$\psi$  – коэффициент соотношения между объемом призмы волочения и вместимостью ковша;

$k_n$  – коэффициент отношения пути копания к длине ковша.

Значения  $\psi$  и  $k_n$  зависят от категории грунта (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Значения коэффициентов  $\psi$  и  $k_n$

| Категория грунта | I   | II  | III  | IV  |
|------------------|-----|-----|------|-----|
| $\psi$           | 0,4 | 0,3 | 0,25 | 0,2 |
| $k_n$            | 3   | 3,5 | 4    | 5,5 |

Кроме сопротивлений грунта резанию, возникает также сопротивление, препятствующее внедрению ковша в грунт, перпендикулярное траектории движения ковша, величина которого примерно составляет  $P_2 = (0,15 - 0,4)P_1$  – для драглайна;  $P_2 = (0,1 - 0,3)P_1$  – для прямой лопаты, причем меньшие значения соответствуют однородным грунтам, большие – грунтам, имеющим каменистые включения.

*Определение усилий в элементах рабочего оборудования*

**Прямая лопата** (рис.1.8). Составляющие усилия на зубьях ковша  $P_1$  и  $P_2$  определяют для двух положений ковша:

– при основном расчетном положении зубья ковша находятся на уровне напорного вала, подъемный канат вертикален, угол наклона стрелы 45°;

– при полном вылете рукояти зубья ковша находятся на уровне напорного вала, угол наклона стрелы 35°.

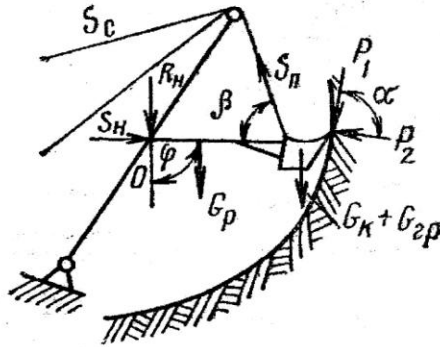


Рис. 1.8. Схема к определению усилий, действующих на режущую кромку ковша

За расчетный грунт принимают: для легких моделей – среднюю глину ( $k = 0,16$  МПа); для средних моделей – тяжелую глину ( $k = 0,25$  МПа); для моделей, предназначенных к работе в особо тяжелых грунтах, – каменистый грунт ( $k = 0,35$  МПа).

В первом расчетном положении расчет ведут при условии 100%-го заполнения ковша,  $k_i = 1$ . При втором положении коэффициент наполнения принимают  $k_i = 0,85-0,9$ .

Усилие в подъемном полиспасте находят для двух расчетных положений из равенства

$$\sum M_o = 0; \quad G_p l_p + G_k l_k + G_{sp} l_{sp} + P_1 l_1 - S_n l_n - P_2 l_2, \quad (1.54)$$

где  $l_i$  – расстояния от точки О до осей действия соответствующих сил;

$G_k$  – вес ковша, Н,

$$G_k \approx (1,3-1,7) qg; \quad (1.55)$$

$G_{sp}$  – вес грунта в ковше, Н,

$$G_{sp} = q\gamma k_n g. \quad (1.56)$$

При определении напорного усилия рассматривают три расчетных положения: I – рукоять вертикальна, угол наклона стрелы 50–60°; II – рукоять горизонтальна, полностью выдвинута, угол наклона стрелы 45°; III – рукоять полностью выдвинута, ковш поднят в наивысшее положение и вышел из забоя, угол наклона стрелы 55–60°.

При расчете оборудования прямой лопаты необходимо определить активное и пассивное напорные усилия.

Активное напорное усилие  $S_{на}$ , затрачиваемое на преодоление отпора грунта  $P_2$  и составляющей подъемного усилия  $S_{н.п}$ , определяется для трех положений рабочего оборудования:

1. Положение начала копания. Угол наклона стрелы 50–60°. На систему действует вес рукоятки  $G_p$ , вес ковша  $G_k$ , усилие подъема  $S_n$ , определенное ранее, и реакция грунта  $P_1$ . В начале копания  $P_2 = (0,1 - 0,3)P_1$ .

Из уравнения моментов относительно оси напорного вала определяют значение реакции грунта

$$\sum M_o = 0; \quad P_1 l - S_n l_n \pm G_p l_p \pm G_k l_k = 0. \quad (1.57)$$

По известным величинам  $P_1$ ,  $S_n$ ,  $G_k$  и  $G_p$  строят многоугольник сил и находят равнодействующую R. Силу R раскладывают на две составляющие, причем сила, действующая вдоль рукоятки, является активным напорным усилием  $S_{н.а}$ , а ей перпендикулярная – реакцией седлового подшипника  $R_u$ .

2. Положение окончания копания. Зубья ковша находятся на уровне напорного вала  $P_2' = (0,1 - 0,3)P_1'$ .

3. Положение максимального выдвижения груженого ковша при максимальном подъеме. Для каждого расчетного положения определяют  $R_u$  и принимают наибольшее из значений. Усилия  $S_n$  и  $S_{н.а}$  служат для определения мощности привода подъемного и напорного механизмов.

$$N_n = \frac{S_n V_n}{1000 \eta_m}. \quad (1.58)$$

$$N_{на} = \frac{S_{на} V_n}{1000 \eta_m}. \quad (1.59)$$

Скорость напорного движения рукоятки

$$V_n \approx (0,8 - 0,9)V_n'. \quad (1.60)$$

Скорость подъема ковша зависит от его объема (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Зависимость скорости подъема ковша от его объема

|                      |      |       |       |        |
|----------------------|------|-------|-------|--------|
| $V_n$ , м/с          | 0,5  | 0,6   | 0,8   | 1–1,25 |
| $q$ , м <sup>3</sup> | 0,65 | 1–1,6 | 2,5–4 | 4      |

При одномоторном приводе общая мощность

$$N = N_n + N_u. \quad (1.61)$$

**Драглайн.** Усилие на зубьях ковша экскаватора создается за счет натяжения тягового каната и веса ковша. Решением основных уравнений статики  $\sum M_o = 0$ ;  $X=0$ ;  $Y=0$  можно определить усилие в тяговом канате, необходимый вес ковша драглайна и ординату прикрепления тяговых цепей к боковым стенкам ковша (рис. 1.9)

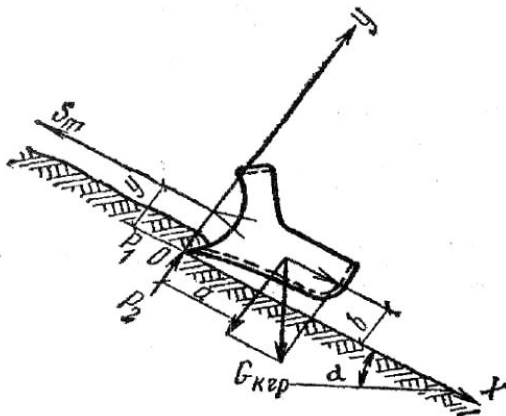


Рис. 1.9. Схема к определению усилий в элементах драглайна

$$\sum M_o = S_T y - G_{к.зр} b \cdot \sin \alpha - G_{к.зр} a \cdot \cos \alpha = 0. \quad (1.62)$$

$$\sum X = S_T - P_1 - G_{к.зр} \cdot \sin \alpha - G_{к.зр} \cdot \cos \alpha \cdot \mu = 0, \quad (1.63)$$

где  $S_T$  – усилие в тяговом канате;

$P_1$  – сопротивление грунта копанию;

$P_2$  – усилие отпора грунта;

$G_{к.зр}$  - вес ковша с грунтом;

$a$  и  $b$  – координаты центра тяжести ковша;

$y$  – ордината крепления тяговых цепей;

$\mu$  – коэффициент трения ковша о грунт;

$\alpha$  – угол откоса грунта.

Предельные углы откоса зависят от плотности грунта: для тяжелых грунтов  $\alpha = 20-25^\circ$ , для средних грунтов  $\alpha = 30-35^\circ$ ; для легких грунтов  $\alpha = 40-45^\circ$ .

**Грейфер.** Усилия, действующие на режущую кромку ковша, и усилия, действующие в подъемном и замыкающем полиспастах, определяются из основных уравнений статики (рис. 1.10).

$$\sum M_0 = \frac{Y_b}{2}a - \frac{G_b}{2}a - H_b g - \frac{1}{2}(G_{sp}k_n + G_c) \cdot c - Pb = 0; \quad (1.64)$$

$$\sum X = -Hb + P \cos \alpha + Ha = 0; \quad (1.65)$$

$$\sum Y = -\frac{Y_b}{2} + \frac{G_b}{2}a - \frac{1}{2}(G_{sp}k_n + G_c) - P \sin \alpha + \frac{Y_a}{2} + \frac{G_a}{2} = 0; \quad (1.66)$$

где  $P$  – усилие на режущих кромках ковша;

$G_c$  – вес створки грейфера;

$G_b$  – вес нижней траверсы с блоками;

$G_a$  – вес верхней траверсы с блоками и тягами;

$Y_b$  – сила натяжения полиспаста, действующая на нижнюю траверсу;

$Y_a$  – сила натяжения полиспаста, действующая на верхнюю траверсу;

$H_a$  – горизонтальная составляющая от сжатия тяги грейфера;

$H_b$  – горизонтальная сила, действующая на шарнир створки.

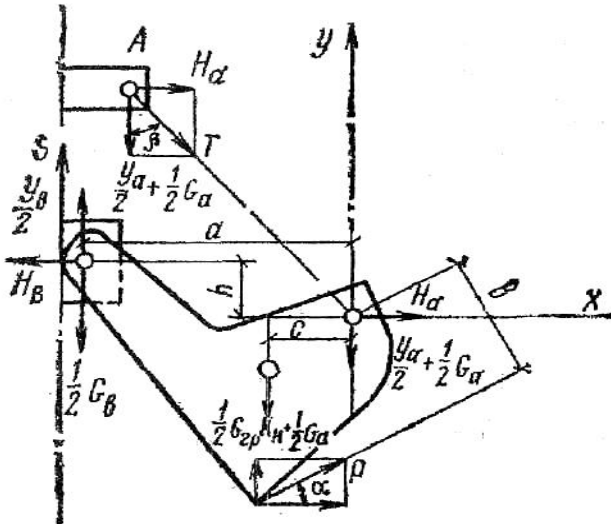


Рис. 1.10. Схема к расчету грейфера

На основании опытных данных рекомендуется принимать

$$G_c \approx 0,5G; C_b \approx 0,2G; G_a \approx 0,3G, \quad (1.67)$$

где  $G = G_a + G_b + G_c$ .

Для легких грейферов

$$G = (0,8q + 0,5)g. \quad (1.68)$$

Для средних грейферов

$$G = (1,5q + 0,5)g. \quad (1.69)$$

Для тяжелых грейферов

$$G = (2,3q + 0,5)g, \quad (1.70)$$

где  $q$  – вместимость ковша, м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести.

Усилие в замыкающем канате

$$S = Y_b - Y_a, \quad (1.71)$$

$$Y_b = Si_n \eta_n, \quad (1.72)$$

$$Y_a = S(i_n - 1)\eta_n, \quad (1.73)$$

где  $i_n$  – кратность полиспаста;

$\eta_n$  – КПД полиспаста.

Гидроцилиндр, устанавливаемый вместо замыкающего полиспаста, подбирают по усилию  $H_b$ .

Горизонтальные силы определяют по формулам

$$H_b = H_a + P \cos \alpha; \quad (1.74)$$

$$H_a = \frac{Y_a + G_a}{2} \operatorname{tg} \beta; \quad (1.75)$$

$$P = \frac{1}{2 \sin \alpha} (G + G_{cp} k_H - S), \quad (1.76)$$

где  $\beta$  – угол наклона тяги к вертикали.

Скорость подъема ковша  $V_n = 0,9$  м/с, скорость движения замыкающего каната  $V_3 \approx 0,7-0,9$  м/с.

**Пример 1.4.** Определить мощность, потребную для подъемного и напорного механизмов прямой лопаты по следующим исходным данным: объем ковша экскаватора  $q = 0,5$  м<sup>3</sup>, ширина ковша  $b = 0,9$  м; длина рукояти  $L_p = 4,6$  м; длина ковша вдоль оси рукояти  $L_k = 1,1$  м; длина стрелы  $L_c = 5,5$  м; масса рукояти

$m_p = 1325$  кг; масса ковша  $m_k = 906$  кг; высота расположения пяты стрелы  $H_c = 1,52$  м; напор независимый.

**Решение.** Основное расчетное положение рукояти – зубья ковша на уровне напорного вала; подъемный канат вертикален, угол наклона стрелы  $\delta = 45^\circ$ . Вес грунта в ковше при объемной массе разрыхленного грунта  $\gamma = 1600$  кг/м<sup>3</sup>.

$$G_{zp} = q\gamma k_n g = 0,5 \cdot 1600 \cdot 1 \cdot 9,81 = 7800 \text{ Н.}$$

Высота забоя составляет

$$H_n = H_c + 0,5L_c \sin \delta = 1,52 + 0,5 \cdot 5,5 \cdot \sin 45^\circ = 3,47 \text{ м.}$$

Толщина срезаемого слоя грунта при принятой высоте забоя

$$c = \frac{qk_H}{H_n bk_p} = \frac{0,5 \cdot 1}{3,47 \cdot 0,9 \cdot 1,1} = 0,15 \text{ м.}$$

Площадь сечения снимаемой стружки

$$F = b \cdot c = 0,9 \cdot 0,15 = 0,13 \text{ м}^2.$$

Соппротивление грунта копанью

$$P_1 = F \cdot k = 0,13 \cdot 0,16 \cdot 10^6 = 20800 \text{ Н} = 20,8 \text{ кН.}$$

При расположении шарнира рукояти в средней части стрелы (см. рис. 1.8) и диаметре головного блока  $D_6 = 1$  м:

– расстояние от точки О до оси полиспаста по горизонтали

$$L_{II} = 0,5L_c \cos 45^\circ + 0,5D_6 = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 0,707 + 0,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ м};$$

– расстояние от шарнира рукояти на стреле по горизонтали до режущей кромки ковша

$$\ell_k = \ell_n + L_k = 2,5 + 1,1 = 3,6 \text{ м};$$

$$\ell_{к.сп} = \ell_k - 0,5L_k = 3,6 - 0,5 \cdot 1,1 = 3,05 \text{ м};$$

$$\ell_3 = \ell_n - 0,5L_3 = 2,5 - 0,5 \cdot 4,6 = 0,2 \text{ м.}$$

Усилие в подъемном полиспасте

$$S_n = \frac{P_k \ell_k + G_{к.сп} \ell_{к.сп} + G_p \ell_p}{\ell_n} =$$

$$= \frac{20800 \cdot 3,6 + (9060 + 7800) \cdot 3,05 + 13250 \cdot 0,2}{2,5} =$$

$$= 52000 \text{ Н} = 52 \text{ кН.}$$

Второе расчетное положение – полный вылет рукояти, зубья ковша находятся на уровне напорного вала

$$P_1' \approx (0,6 - 0,65) P_1 = 0,65 \cdot 20800 = 13500 \text{ Н} = 13,5 \text{ кН.}$$

В результате графических построений (рукоять выдвигается не полностью)

$$\ell'_n = 3,1 \text{ м}; \quad \ell'_\kappa = 5,4 \text{ м}; \quad \ell'_{\kappa.зп} = 4,85 \text{ м}; \quad \ell'_p = 2 \text{ м}.$$

Вес грунта в ковше

$$G'_{зп} = \gamma k_n g = 0,5 \cdot 1600 \cdot 0,85 \cdot 9,81 = 6800 \text{ Н} = 6,8 \text{ кН}.$$

Вес ковша

$$G_\kappa = m_\kappa g = 906 \cdot 9,81 \cong 9000 \text{ Н}.$$

Усилие в подъемном полиспасте

$$S'_n = \frac{P'_1 \ell'_\kappa + G'_{\kappa.зп} \ell'_{\kappa.зп} + G'_p \ell'_p}{\ell'_n} =$$

$$= \frac{13500 \cdot 5,4 + (9000 + 6800) \cdot 4,85 + 13000 \cdot 2}{3,1} =$$

$$= 56500 \text{ Н} = 56,5 \text{ кН}.$$

Вес рукояти

$$G_p = m_p g = 1325 \cdot 9,81 = 13000 \text{ Н} = 13 \text{ кН}.$$

Проверка усилия в подъемном полиспасте на возможность подъема ковша в наивысшее положение. В результате графических построений

$$\ell''_{\kappa.зп} = 3,6 \text{ м}; \quad \ell''_3 = 1,3 \text{ м}; \quad \ell''_n = 2 \text{ м}.$$

Вес грунта в ковше

$$G'_{зп} = 0,5 \cdot 1600 \cdot 1,2 \cdot 9,81 = 9500 \text{ Н} = 9,5 \text{ кН}.$$

Усилие в подъемном полиспасте

$$S''_n = \frac{G''_{\kappa.зп} \ell''_{\kappa.зп} + G'_p \ell''_p}{\ell''_n} =$$

$$= \frac{(9000 + 9500) \cdot 3,6 + 13000 \cdot 1,3}{2} =$$

$$= 41200 \text{ Н} = 41,2 \text{ кН}.$$

Наибольшее расчетное значение усилия подъема

$$S'_n = 56,5 \text{ кН}.$$

Активное напорное усилие  $S_{н.а}$  определяется для трех расчетных положений.

Для определения реакции грунта в начале копания графическими построениями находят

$$\ell = 4,8 \text{ м}; \quad \ell_n = 1,4 \text{ м}; \quad \ell_p = 0,1 \text{ м}; \quad \ell_\kappa = 0,2 \text{ м};$$

$$P_1 = \frac{S_n \ell_n + G_p \ell_p + G_k \ell_k}{\ell_n} =$$

$$= \frac{56500 \cdot 1,4 + 13000 \cdot 0,1 + 9000 \cdot 0,2}{4,8} =$$

$$= 17200 \text{ H} = 17,2 \text{ кН}.$$

В результате построения многоугольника сил и разложения равнодействующей R на составляющие, находим активное напорное усилие  $S_{н.а} = 47 \text{ кН}$ .

Для второго расчетного положения находим

$$P'_2 = 0,2 P'_1 = 0,2 \cdot 13500 = 2700 \text{ H} = 2,7 \text{ кН}.$$

В результате построения многоугольника сил  $S''_{н.а} = 46 \text{ кН}$ .

Для третьего расчетного положения в результате построения многоугольника сил  $S'''_{н.а} = 43 \text{ кН}$ . Наибольшее активное напорное усилие  $S_{н.а} = 47 \text{ кН}$ .

Для определения пассивного напорного усилия необходимо найти реакцию грунта из уравнения моментов относительно оси напорного вала.

$$\sum M_0 = 0; \quad P_1 \ell_1 + G_{к.зр} \ell_{к.зр} + G_p \ell_p - S_{н.макс} \ell = 0.$$

Величины плеч

$$\ell_n = 2 \text{ м}; \quad \ell_p = 1,3 \text{ м}; \quad \ell_{к.зр} = 3,6 \text{ м};$$

$$\ell = L_p - 0,3 + L_k = 4,6 - 0,3 + 1,1 = 5,4 \text{ м}.$$

$$S_{н.макс} = \frac{S_n}{0,65} = \frac{56,5}{0,65} = 87 \text{ кН}.$$

$$P_1 = \frac{S_{н.макс} \ell_n - G_{к.зр} \ell_{к.зр} - G_p \ell_p}{\ell} =$$

$$= \frac{87 \cdot 2 - 18,5 \cdot 3,6 - 13 \cdot 1,3}{5,4} =$$

$$= 17000 \text{ H} = 17 \text{ кН}.$$

В результате построения многоугольника сил пассивное напорное усилие получилось равным  $S_{н.п} = 78 \text{ кН}$ . Скорость подъема ковша  $V_n = 0,5 \text{ м/с}$ . Скорость напора

$$V_H = 0,6 \cdot V_n = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \text{ м/с}.$$

Мощность, необходимую для подъема ковша, определяем по наибольшему усилию в подъемном полиспасте. Принимаем  $\eta_M=0,85$ . По формуле (1.58)

$$N_n = \frac{56500 \cdot 0,5}{1000 \cdot 0,85} = 33,4 \text{ кВт.}$$

Мощность для напорного движения определяем по наибольшему активному напорному усилию по формуле (1.59)

$$N_n = \frac{47000 \cdot 0,3}{1000 \cdot 0,85} = 16,6 \text{ кВт.}$$

**Пример 1.5.** Произвести расчет по определению потребных мощностей для подтягивания и подъема ковша драглайна по следующим данным. Объем ковша экскаватора  $q = 0,5 \text{ м}^3$ , масса ковша экскаватора  $m_k=701 \text{ кг}$ , разрабатываемый фунт – гравий II категории,  $k_p=1,1$ , коэффициент трения ковша о грунт  $\mu = 0,58$ ; угол разрабатываемого откоса  $\alpha = 45^\circ$ , ширина ковша  $B_k = 0,9 \text{ м}$ ; длина ковша  $L_k=1,4 \text{ м}$ ; высота ковша  $H_k = 0,59 \text{ м}$ .

**Решение.** Толщина срезаемого слоя грунта при  $\psi = 0,3$  и  $k_1 = 3,5$

$$c = \frac{q(1+\psi)}{k_p L_k B_k k_p} = \frac{0,5(1+0,3)}{3,5 \cdot 1,4 \cdot 0,9 \cdot 1,1} = 0,13 \text{ м.}$$

Соппротивление грунта копанию

$$P_1 = k B_k c = 0,17 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,13 = 20000 \text{ Н} = 20 \text{ кН.}$$

Принимаем координаты центра тяжести

$$a = \frac{1}{2} H_k = 0,5 \cdot 0,59 \approx 0,3 \text{ м;}$$

$$b = 0,5 L_k = 0,5 \cdot 1,4 = 0,7 \text{ м.}$$

$$G_k = m_k g = 701 \cdot 9,81 = 6900 \text{ Н} = 6,9 \text{ кН.}$$

$$G_{sp} = q \gamma k_n g = 0,5 \cdot 1 \cdot 1800 \cdot 9,81 = 8800 \text{ Н} = 8,8 \text{ кН.}$$

$$G_{k.sp} = G_k + G_{sp} = 6900 + 8800 = 15700 \text{ Н} = 15,7 \text{ кН.}$$

Из уравнений статики

$$\sum M_0 = S_T y - G_{k.sp} b \cdot \sin \alpha - G_{k.sp} a \cdot \cos \alpha = 0;$$

$$\sum X = S_T - P_1 - G_{k.sp} \sin \alpha - G_{k.sp} \cos \alpha \mu = 0.$$

Находим натяжение тягового каната

$$S_T = P_1 + G_{k.sp} \sin \alpha + G_{k.sp} \cos \alpha \mu =$$

$$= 20 + 15,7 \sin 45^\circ + 15,7 \cos 45^\circ \cdot 0,58 = 37,4 \text{ кН}$$

и ординату крепления тяговых цепей

$$y = \frac{1}{S_T} (G_{к.зп} b \sin \alpha + G_{к.зп} a \cos \alpha) =$$
$$= \frac{15,7}{37,4} (0,7 \sin 45^0 + 0,3 \cos 45^0) \approx 0,3 \text{ м.}$$

При скорости тяги ковша  $V_T=0,8$  м/с и  $\eta = 0,8$ , необходимая для перемещения ковша мощность

$$N_T = \frac{S_T V_T}{1000 \eta} = \frac{37400 \cdot 0,8}{1000 \cdot 0,8} = 37,4 \text{ кВт.}$$

При подъемном усилии  $S_{\Pi} \approx 1,25$

$$S_T = 1,25 \cdot 37,4 = 46,6 \text{ кН,}$$

$$V_n \approx (1,3 - 1,6) V_T = 1,3 \cdot 0,8 = 1,05 \text{ м/с}$$

и  $\eta = 0,8$ , необходимая мощность для подъема ковша составит

$$N_n = \frac{46600 \cdot 1,05}{1000 \cdot 0,8} = 61 \text{ кВт.}$$

## 2. ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ

### 2.1. Домкраты

Домкраты служат для подъема грузов на небольшую высоту для передвижения и выверки конструкций и оборудования при установке. Различают винтовые, реечные и гидравлические домкраты.

Винтовые домкраты (рис.2.1) изготовляют грузоподъемностью до 50 т с высотой подъема до 0,4 м. Винтовой домкрат имеет литой или сварной корпус 1, в верхней части которого закреплены бронзовая, реже чугунная гайка 6, стальной винт 2 с трапециевидальной или прямоугольной однозаходной резьбой и оголовок 3, свободно сидящий на винте; упираясь при работе в перемещаемый груз, оголовок при вращении винта остается неподвижным. Вращают винт рукояткой 5 с трещоткой 4. В рукоятке на оси 9 установлена двусторонняя собачка 10, приводящая во вращение храповое колесо 11, закрепленное на грузовом винте. Положение собачки, служащей для реверсирования винта, фиксируется стопором 8 и пружиной 7.

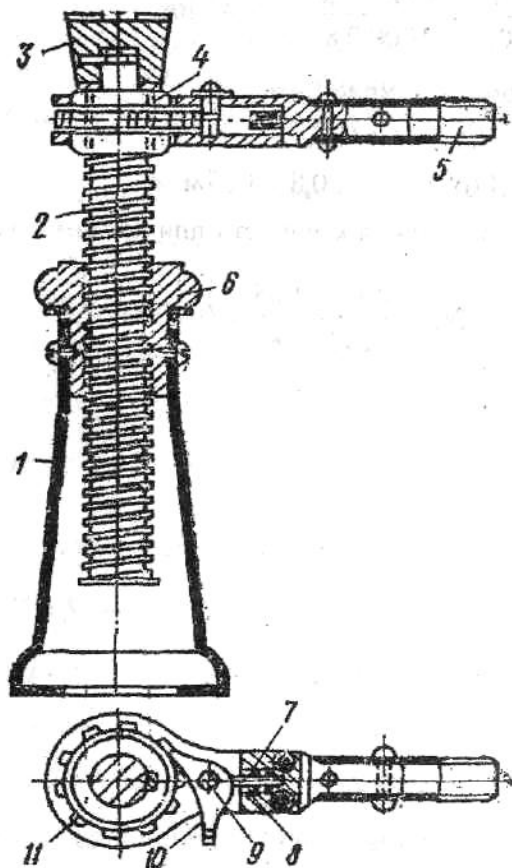


Рис. 2.1. Винтовой домкрат

**Пример 2.1.** Определить основные параметры винтового домкрата, характеризуемого следующими данными: усилие на рукоятке  $P_p = 150$  Н, длина рукоятки  $L_p = 600$  мм,  $\alpha = 4^\circ$ , средний диаметр резьбы винта  $d = 40$  мм, высота подъема  $H = 250$  мм, среднее время одного двойного хода рукоятки с трещоткой  $t_0 = 2$  с, ход рукоятки  $a = 400$  мм.

**Решение.** При коэффициенте трения между винтом и гайкой  $f = 0,08$ , угол трения  $\rho = 4^\circ 30'$ . Вес поднимаемого груза без учета трения в опорной головке

$$Q = \frac{2P_p \ell_p}{d \operatorname{tg}(\alpha + \rho)} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 600}{40 \operatorname{tg}(4^\circ + 4^\circ 30')} = 30000 \text{ Н} \quad 30 \text{ кН}.$$

Шаг винта

$$S = \pi d \cdot \operatorname{tg} \alpha = 3,14 \cdot 40 \cdot \operatorname{tg} 4^\circ = 8,8 \text{ мм}.$$

Число оборотов винта для подъема груза на заданную высоту

$$n = \frac{H}{S} = \frac{250}{8,8} \approx 28 \text{ об.}$$

Число ходов рукоятки с трещоткой для осуществления одного оборота винта

$$m = \frac{2\pi \ell_p}{a} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 600}{400} = 9,5 \text{ шт.}$$

Время подъема груза при непрерывной работе

$$t = t_0 \cdot m \cdot n = 2 \cdot 9,5 \cdot 28 = 530 \text{ с} \approx 9 \text{ мин.}$$

Принимаем значения диаметров винта с прямоугольной резьбой (прямоугольные резьбы не стандартизированы)  $d_n = 45$  мм,  $d_{в.н} = 35$  мм.

Приведенное напряжение при проверке винта на совместное действие сжатия и кручения

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{4Q}{\pi d_{вн}^2}\right)^2 + 4\left(\frac{M_{кр}}{W_{кр}}\right)^2} \leq [\sigma_u].$$

Для стали 35 и Ст5  $[\sigma_u] = 50-70$  МПа.

$$Q = 30 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

$$M_{кр} = Q \operatorname{tg}(\alpha^0 + \rho^0) \frac{d}{2} = 30 \cdot 10^3 \cdot \operatorname{tg}(4^\circ + 4^\circ 30') \frac{0,04}{2} = 90 \text{ Нм}.$$

$$W_{кр} = 0,2 d_{вн}^3 = 0,2 \cdot 0,035^3 = 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 30 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,035^2}\right)^2 + 4\left(\frac{90}{8,6 \cdot 10^{-6}}\right)^2} = 37,6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 37,6 \text{ МПа}.$$

Проверка максимальной длины винта расчетом на продольный изгиб. Принимаем длину винта с учетом высоты опорной головки = 300 мм; расчетная длина винта

$$\ell_p = 2 \cdot \ell = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ м}.$$

Радиус инерции круглого сечения винта

$$r = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{\pi d_{\text{вн}}^4}{64\pi d_{\text{вн}}^2}} \cdot \frac{d_{\text{вн}}}{4} = 0,035 / 4 \approx 0,009 \text{ м.}$$

Гибкость стержня

$$\lambda = \frac{\ell_p}{r} = \frac{0,6}{0,009} \approx 67.$$

Коэффициент снижения допускаемого напряжения при продольном изгибе  $\varphi = 0,74$  (табл. 2.1).

Площадь ослабленного сечения винта

$$F = \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,035^2}{4} = 9,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Допускаемое напряжение на сжатие для стали 35 и Ст5 при  $d < 30 \text{ мм}$   $[\sigma_{\text{нв}}] = 40\text{--}60 \text{ МПа}$ .

Таблица 2.1

Значения коэффициентов  $\varphi$

| Гибкость А. | Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 | Ст5  | Чугун | Дерево |
|-------------|--------------------|------|-------|--------|
| 0           | 1                  | 1    | 1     | 1      |
| 10          | 0,99               | 0,97 | 0,97  | 0,99   |
| 20          | 0,96               | 0,95 | 0,91  | 0,97   |
| 30          | 0,94               | 0,91 | 0,81  | 0,93   |
| 40          | 0,92               | 0,87 | 0,69  | 0,87   |
| 50          | 0,89               | 0,83 | 0,57  | 0,8    |
| 60          | 0,86               | 0,79 | 0,44  | 0,71   |
| 70          | 0,81               | 0,72 | 0,34  | 0,61   |
| 80          | 0,75               | 0,65 | 0,26  | 0,48   |
| 90          | 0,69               | 0,55 | 0,2   | 0,38   |
| 100         | 0,6                | 0,43 | 0,16  | 0,31   |
| 110         | 0,52               | 0,35 | -     | 0,26   |
| 120         | 0,45               | 0,3  | -     | 0,22   |
| 130         | 0,4                | 0,26 | -     | 0,18   |
| 140         | 0,36               | 0,23 | -     | 0,16   |
| 150         | 0,32               | 0,21 | -     | 0,14   |
| 160         | 0,29               | 0,19 | -     | 0,12   |
| 170         | 0,26               | 0,17 | -     | 0,11   |
| 180         | 0,23               | 0,15 | -     | 0,1    |
| 190         | 0,21               | 0,14 | -     | 0,09   |
| 200         | 0,19               | 0,13 | -     | 0,08   |

Напряжение, возникающее в теле винта,

$$\sigma_{сж} = \frac{Q}{F\phi} = \frac{30 \cdot 10^3}{9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,74} = 42 \cdot 10^6 \text{ Па} = 42 \text{ МПа} < [\sigma_{сж}]$$

Определение наружного диаметра гайки из расчета на растяжение. Допускаемое напряжение на растяжение: для бронзы  $[\sigma_p] = 40\text{--}50$  МПа; для чугуна  $[\sigma_p] = 25\text{--}30$  МПа,  $[\sigma_p] = 44$  МПа – для бронзы АЖ-9-4.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[\sigma_p]} + d_n^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 30 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 44 \cdot 10^2} + 0,045^2} = 0,054 \text{ м.}$$

Определение числа витков резьбы гайки из расчета на удельное давление. Допускаемые удельные давления: для стали по чугуну  $q = 50\text{--}60$  МПа; для стали по антифрикционному чугуну  $q = 10\text{--}13$  МПа; для стали по бронзе  $q = 7\text{--}13$  МПа.

Число витков резьбы

$$z = \frac{4Q}{q\pi(d_n^2 - d_{вн}^2)} = \frac{4 \cdot 30 \cdot 10^3}{12 \cdot 10^6 \cdot 3,14(0,045^2 - 0,035^2)} = 4.$$

Определение числа витков резьбы гайки из расчета на изгиб. Допускаемые напряжения на изгиб для бронзы  $[\sigma_u] = 48$  МПа, для чугуна  $[\sigma_u] = 32$  МПа.

$$z = \frac{3Q(d_n - d)}{\pi d_n b_1^2 [\sigma_u]} = \frac{3 \cdot 30 \cdot 10^3 (0,045 - 0,04)}{3,14 \cdot 0,045 \cdot 0,044^2 \cdot 48 \cdot 10^6} = 3,4.$$

Толщина профиля резьбы

$$b_1 = \frac{s}{2} = \frac{0,0088}{2} = 0,0044 \text{ м.}$$

Число витков резьбы гайки принимается наибольшим, но не более 10 витков, в противном случае следует увеличить диаметр винта и произвести перерасчет. Принятое число витков резьбы гайки проверяют расчетом на срез резьбы. Принимаем  $z = 6$ .

$$\tau_{ср} = \frac{Q}{\pi d_n b_1 z} = \frac{30 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,045 \cdot 0,0044 \cdot 6} = 8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 8 \text{ МПа.}$$

Размеры опорной поверхности домкрата определяют из условиях смятия сосновых досок, применяемых в качестве подкладок под домкрат. Допускаемое напряжение на смятие сосны (ели)  $[\sigma_{см}] = 2\text{--}2,5$  МПа.

$$\sigma_{см} = \frac{4Q}{\pi(D_n^2 - D_{вн}^2)} \leq [\sigma_{см}].$$

Принимаем  $D_{вн} > D$ ,  $D$  – наружный диаметр гайки,  $D = 54$  мм;  $D_{вн} = 70$  мм – внутренний диаметр опорной поверхности. Определение наружного диаметра опорной поверхности домкрата

$$D_n = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[\sigma_{см}]} + D_{вн}^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 30 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 2 \cdot 10^6} + 0,07^2} = 0,12 \text{ м.}$$

Принимаем  $D_n = 120$  мм.

Дальнейшим расчетом могут быть определены размеры заплечика гайки, толщина корпуса и уточнены размеры элементов приводного устройства: рукоятки, собачки, храповика и др.

**Реечные домкраты** (рис. 2.2) обычно имеют грузоподъемность до 6 т, а высоту подъема груза до 600 мм.

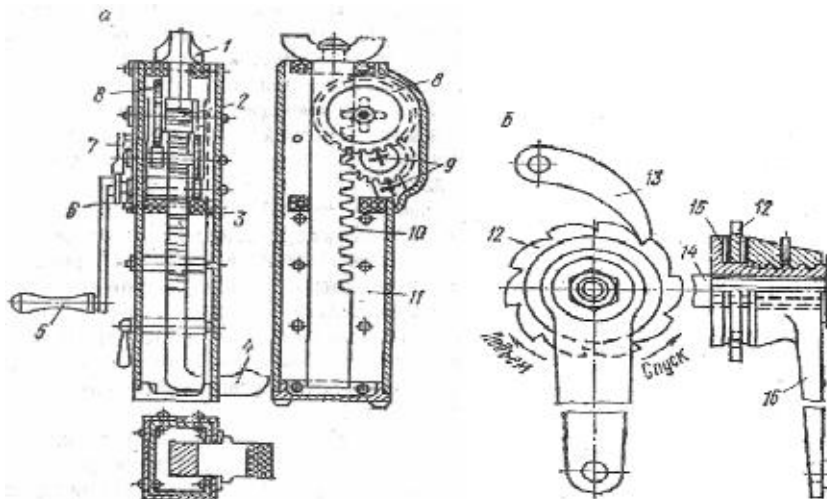


Рис. 2.2. Реечный домкрат  
а – общий вид; б – безопасная рукоятка

В корпусе 11 по направляющим 3 перемещается рейка 10, в верхней части которой находится грузовой оголовок 1. Нижняя часть рейки, изогнутая под прямым углом, образует «лапу» 4, которая может быть использована для подъема низко расположенного груза. Перемещение рейки осуществляется шестерней 2, находящейся в постоянном зацеплении с рейкой. Шестерня 2 (звездочка), имеющая четыре-шесть зубьев, приводится во вращение рукояткой 5 и зубчатыми колесами 8 и 9. Для удержания поднятого груза на валу рукоятки установлен храповик 6 с собачкой 7.

Реечные домкраты снабжены безопасными рукоятками с автоматически действующими грузоупорными тормозами. На приводном валу 14 шпонкой закреплена втулка 15 с нарезкой, на которую навинчивается рукоятка 16. Между рукояткой и втулкой, на уступе последней, свободно насажено храповое колесо 12, вращению которого при опускании рейки препятствует собачка 13. При вращении рукоятка навинчивается на втулку и прижимает храповое колесо к заплечику (уступу) втулки, передавая крутящий момент на вал 14.

При подъеме рейки с грузом собачка свободно проскальзывает по зубьям храпового колеса, а при прекращении подъема упирается в зуб храповика. Для опускания рейки с грузом необходимо вращать рукоятку в обратную сторону. При этом рукоятка сместится по резьбе вправо, а между втулкой и храповым колесом образуется зазор и втулка 15 вместе с валом под действием крутящего момента от веса груза начинает вращаться. Как только скорость вращения вала 14 превысит скорость вращения рукоятки, последняя снова станет навинчиваться на втулку 15 и зажмет храповик. Поэтому для опускания рейки с грузом необходимо равномерно вращать рукоятку в сторону опускания груза.

Передаточное число зубчатой передачи

$$U = U_1 U_2 = \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}.$$

Момент на валу с шестерней, находящейся в зацеплении с зубчатой рейкой (рис. 2.3).

$$M_u = Q d_5 / 2,$$

где  $Q$  – вес поднимаемого груза;

$d_5$  – диаметр делительной окружности шестерни, находящейся в зацеплении с зубчатой рейкой,  $d_5 = m_3 z_5$ ;

$\eta$  – КПД зубчатой передачи ( $\eta = 0,8 - 0,82$ ).

Момент на приводном валу

$$M_1 = P_p \ell_p.$$

Усилие на приводной рукоятке

$$P_p = \frac{Q d_5}{2 U \ell_p \eta},$$

где  $\ell_p$  – длина приводной рукоятки ( $\ell_p = 200 - 250$  мм).

При длительной работе  $P_p = 120 - 150$  Н, при кратковременной работе  $P_p = 200 - 250$  Н.

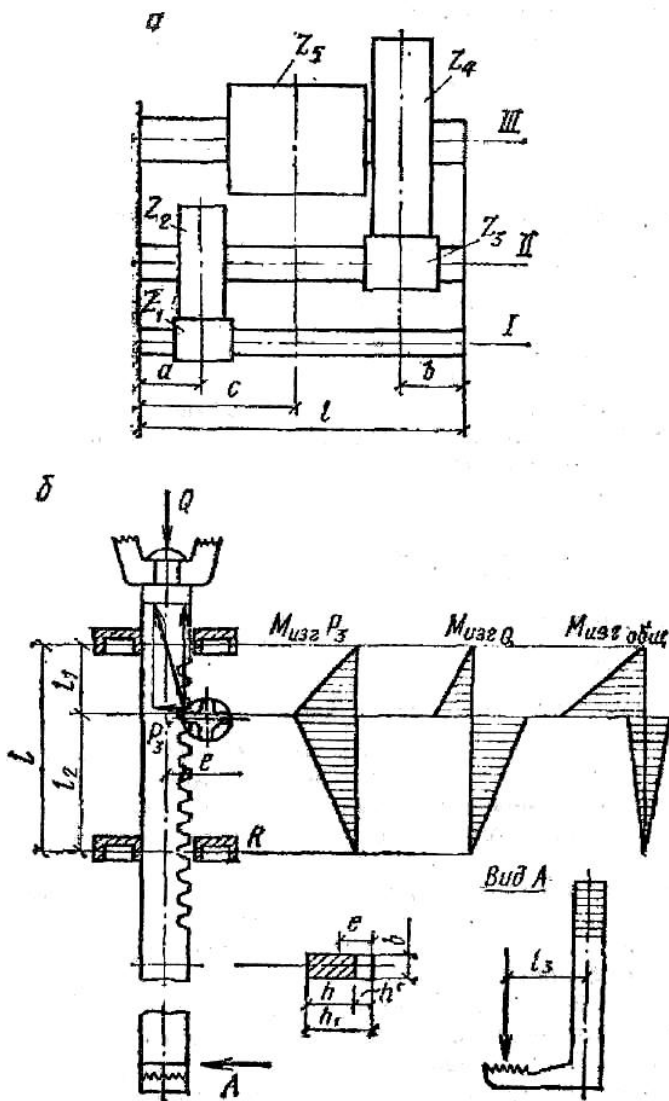


Рис. 2.3. Схемы к расчету реечного домкрата:  
 а – зубчатая передача; б – зубчатая рейка

Скорость перемещения рейки

$$v = \pi d_s n \frac{1}{U},$$

где  $n$  – частота вращения рукоятки ( $n = 20\text{--}30 \text{ мин}^{-1}$ ).

Поперечные размеры зубчатой рейки определяются расчетом на сжатие и изгиб.

Напряжение

$$\sigma = \sigma_{сж} - \sigma_u = \frac{Q}{bh} + \frac{6M_u}{bh^2},$$

где  $b$  – ширина рейки;

$h$  – толщина рейки;

$M_u$  – максимальный результирующий момент.

Элементы зубчатой передачи рассчитываются по общим расчетным формулам, причем при расчете зубчатых колес и рейки допускаемое напряжение на изгиб  $[\sigma_u] = 20\text{--}25 \text{ МПа}$  для цементированных и закаленных шестерен, изготовленных из стали марок Ст5, 45.

**Гидравлические домкраты** применяют на монтажных работах обычно в промышленном строительстве. Грузоподъемность их достигает 750 т, а высота подъема груза – 0,4 м. При необходимости гидравлические домкраты могут быть объединены в батареи с общей грузоподъемностью в несколько тысяч тонн (монтаж пролетов мостов, доменных печей и т.п.).

На рис. 2.4 показана схема работы гидравлического домкрата. С помощью поршня 5 плунжерного насоса 4 жидкость из насосного отделения 7 перекачивается через клапанные устройства 8 и 9 в цилиндр домкрата 1 и давит на поршень 2, несущий груз. Перемещение поршня плунжерного насоса осуществляется рукояткой 6. Скорость опускания груза зависит от степени открывания отверстия 3, через которое вытекает жидкость из цилиндра.

Насосное отделение домкрата может быть выполнено в одном блоке с цилиндром или отдельно, тогда жидкость подается в цилиндр домкрата по трубопроводу. Для обслуживания батареи домкратов насосы оборудуют приводом, обеспечивающим одинаковое давление во всех домкратах.

Давление рабочей жидкости, создаваемое насосом,

$$P_H = \frac{4P}{\pi d^2}.$$

Давление под подъемным поршнем

$$P_{II} = \frac{4Q}{\pi D^2},$$

где  $P$  – усилие на плунжере насоса;  
 $Q$  – вес поднимаемого груза.

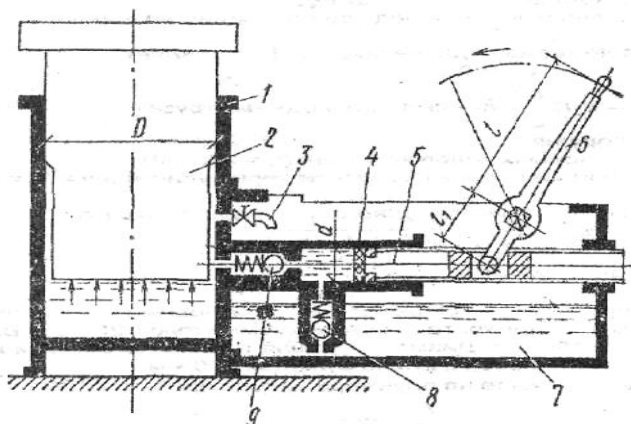


Рис. 2.4. Гидравлический домкрат

Усилие на приводной рукоятке с учетом потерь на трение

$$P_p = \frac{Qd^2 l_1}{D^2 l \eta},$$

где  $\eta = 0,7-0,8$ ;

$l$  – длина рукоятки 500–800 мм;

$l_1$  – длина плеча рычага, передающего усилие на поршень;

$$l_1 = l / (15 - 20).$$

Время подъема груза на высоту  $H$  составляет

$$t = H / V,$$

где  $V = S_1 n \frac{d^2}{D^2} k$  – скорость подъема груза,

где  $S_1$  – ход поршня;

$n$  – число двойных ходов за 1 мин ( $n = 25-30$ );

$k$  – коэффициент утечки жидкости через уплотнения ( $k = 0.9-0.95$ ).

Наружный диаметр чугунного цилиндра домкрата

$$D_n = D \sqrt{([\sigma_p] + \rho_n) / ([\sigma_p] - \rho_n)},$$

$$([\sigma_p] = 45 - 60 \text{ МПа}).$$

**Пример 2.2.** Определить основные параметры гидравлического домкрата грузоподъемностью 20 т. Высота подъема груза 160 мм. Диаметр поршня насоса 28 мм. Усилие на приводной рукоятке 250 Н, длина рукоятки 700 мм.

**Решение.** Усилие на плунжере насоса при  $l_1 = l/20$

$$P_1 = Pl/l_1 = 250 \cdot \frac{0,7}{0,035} = 5000 \text{ Н}.$$

Давление, создаваемое насосом,

$$P_H = \frac{4P_1}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 5000}{3,14 \cdot 0,028^2} = 8,1 \text{ МПа}.$$

Давление под подъемным поршнем

$$P_p = P_H \cdot \eta = 8,1 \cdot 0,75 = 6,08 \text{ МПа}$$

Диаметр подъемного поршня

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 200 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 6,08 \cdot 10^6}} = 0,2 \text{ м}, \Rightarrow D = 200 \text{ мм}.$$

Принимая размах приводной рукоятки  $a = 400$  мм, получим ход поршня насоса

$$S_i = \frac{a \cdot l_1}{l} = \frac{400 \cdot 35}{700} = 20 \text{ мм}.$$

Наружный диаметр цилиндра домкрата

$$D_H = D \cdot \sqrt{\frac{[\sigma_p] + P_H}{[\sigma_p] - P_H}} = 0,2 \cdot \sqrt{\frac{45 + 6,8}{45 - 6,8}} = 0,229 \text{ м}.$$

Принимаем  $D_H = 240$  мм. Скорость подъема груза

$$V = S_i \cdot n \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot k = 0,02 \cdot 30 \cdot \frac{0,028^2}{0,2^2} \cdot 0,92 = 0,01 \text{ м / мин}.$$

Время подъема груза на высоту  $H = 160$  мм

$$t = \frac{H}{V} = \frac{0,16}{0,01} = 16 \text{ мин}.$$

## 2.2. Устойчивость грузоподъемных кранов

Нормами Госгортехнадзора предусматривается проверка грузовой устойчивости крана против опрокидывания в сторону груза и собственной устойчивости – в сторону противовеса (рис. 2.5).

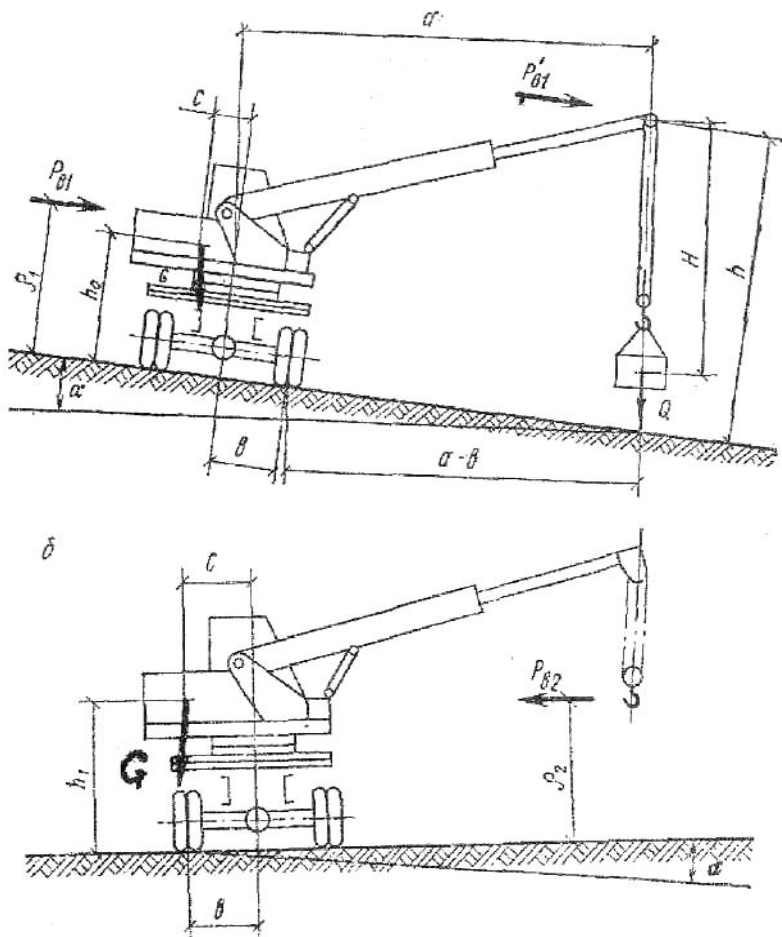


Рис. 2.5. Схема к проверке устойчивости крана:  
а – грузовой; б – собственной

Коэффициент грузовой устойчивости

$$k_1 = \frac{M_1 - \sum M_i^D}{M_{cp}} \geq 1,15. \quad (2.1)$$

Коэффициент собственной устойчивости

$$k_2 = \frac{M_2}{M_{\delta 2}} \geq 1,15, \quad (2.2)$$

где  $M_1$  – момент, удерживающий кран от опрокидывания в сторону груза;

$$M_1 = G[(b + c) \cos \alpha - h_1 \sin \alpha]; \quad (2.3)$$

$\sum M_i^D$  – сумма всех опрокидывающих моментов от дополнительных нагрузок (ветровых, инерционных);

$M_{zp}$  – грузовой опрокидывающий момент;

$$M_{zp} = Q(a - b); \quad (2.4)$$

$M_2$  – момент, удерживающий кран от опрокидывания в сторону противовеса;

$$M_2 = G[(b - c) \cos \alpha - h_1 \sin \alpha]; \quad (2.5)$$

$M_{e2}$  – ветровой опрокидывающий момент при нерабочем состоянии крана;

$$M_{e2} = P_{e2} \rho_2. \quad (2.6)$$

Опрокидывающие моменты от дополнительных нагрузок

$$\sum M_i^D = M_1^D + M_2^D + M_3^D + M_4^D, \quad (2.7)$$

где  $M_1^D$  – момент от вертикальной инерционной силы при подъеме груза;

$$M_1^D = QV(a - b) / (gt), \quad (2.8)$$

$M_2^D$  – момент от центробежной силы груза при вращении крана;

$$M_2^D = \frac{Q\pi^2 n^2 ah}{g(900 - Hn^2)}; \quad (2.9)$$

где  $M_3^D$  – ветровой опрокидывающий момент от силы ветра, действующей на кран;

$$M_3^D = P_{e1} \cdot \rho_1; \quad (2.10)$$

$M_4^D$  – ветровой опрокидывающий момент от силы ветра, действующей на груз;

$$M_4^D = P'_{e1} \cdot \rho'_{e1}, \quad (2.11)$$

где  $\rho'_{e1} = h$ .

Кроме перечисленных моментов, в необходимых случаях учитывают дополнительные моменты, возникающие при проверке устойчивости крана, перемещающегося с грузом; в случае измене-

ния вылета крюка; при проверке грузовой устойчивости крана со стрелой под углом  $45^\circ$  к ребру опрокидывания.

В вышерассмотренных формулах:

$G$  – вес крана, Н;

$c$  – расстояние от центра тяжести крана до оси его вращения, м;

$h_0, f_y$  – расстояние от центра тяжести крана до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м;

$\alpha$  – угол наклона пути ( $\alpha = 3^\circ$  при работе кранов на автомобильном ходу без опорных домкратов и  $\alpha = 1^\circ 30'$  при работе кранов с опорными домкратами);

$b$  – расстояние от оси вращения крана до ребра опрокидывания, м;

$Q$  – предельный вес груза, Н;

$v$  – скорость подъема груза, м/с;

$t$  – время пуска и торможения, с;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$a$  – расстояние от оси вращения крана до центра тяжести подвешенного предельного рабочего груза для крана, установленного на горизонтальной плоскости, м;

$P_{в1}$  – сила ветра, действующая на подветренную площадь крана, параллельная плоскости, на которой установлен кран, Н;

$\rho_1, \rho_2, \rho'_1$  – расстояние от линии действия силы ветра до ребра опрокидывания, м;

$P'_{e1}$  – сила ветра, действующая на подветренную площадь подвешенного рабочего груза, Н;

$h$  – расстояние от головки стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м;

$H$  – расстояние от головки стрелы до центра тяжести подвешенного груза в его наиниже над уровнем земли положении;

$n$  – частота вращения поворотной части крана, мин<sup>-1</sup>;

$P_{e2}$  – сила ветра, действующая на подветренную площадь крана при его нерабочем состоянии.

Без учета дополнительных нагрузок и влияния уклона пути (опорной поверхности) коэффициент грузовой устойчивости

$$k_1 = M_1 / M_{cp}. \quad (2.12)$$

Ветровые нагрузки, действующие на кран, определяют по ГОСТ 1451-77 в зависимости от средней скорости ветра. Территория России и СНГ разбита на семь районов с различными пре-

дельными скоростями воздуха на высоте 10 м над уровнем земли (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Предельная скорость воздуха

| Район              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7    |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Скорость, м/с      | 21  | 24  | 27  | 30  | 33  | 37  | 40   |
| Ветровой напор, Па | 280 | 350 | 450 | 560 | 700 | 850 | 1000 |

Ветровая нагрузка

$$P_e = p_e k_a k_p F, \quad (2.13)$$

где  $P_e$  – давление ветра, Па;

$k_a$  – коэффициент аэродинамического сопротивления ( $k_a = 1,4$  – для ферм, стрел, башен, мостов;  $k_a = 1,2$  – для вантов, канатов, противовесов, кабин);

$k_p$  – коэффициент решетчатости ( $k_p = 1$  – для сплошных поверхностей,  $k_p = 0,3-0,4$  – для решетчатых конструкций);

$F$  – подветренная площадь, м<sup>2</sup>.

При проверке грузовой устойчивости строительных кранов принимают  $P_{e1} = 250$  Па. При проверке собственной устойчивости учитывают ветровой напор ураганного ветра в зависимости от места установки крана. Для центральных районов можно принимать  $P_{e2} = 700$  Па для кранов высотой до 20 м. На каждый последующий метр высоты крана давление ветра увеличивают на 10 Па.

При нескольких подветренных поверхностях (башни кранов, фермы мостовых кранов) подветренная площадь принимается как сумма подветренных площадей всех параллельно расположенных ферм.

Проверка устойчивости башенных кранов включает расчет грузовой устойчивости как для максимального, так и для минимального вылета

$$k_1 M_{ep} + M_{e1} + M_D \leq 0,95 M_1, \quad (2.14)$$

где  $k_1$  – коэффициент перегрузки, учитывающий режим работы, грузоподъемность и область применения;

$M_{ep}$  – грузовой опрокидывающий момент;

$M_{\epsilon 1}$  – момент относительно ребра опрокидывания от нормативной ветровой нагрузки рабочего состояния, действующей на кран и груз;

$M_{\text{д}}$  – момент относительно ребра опрокидывания от динамических нагрузок;

$M_1$  – момент, удерживающий кран от опрокидывания в сторону груза.

Грузовую устойчивость крана проверяют не только расчетом, но и испытанием крана.

Собственную устойчивость башенного крана проверяют для рабочего и нерабочего состояния. При рабочем состоянии кран стоит на уклоне с максимально поднятой стрелой без груза. На кран действуют ветровые нагрузки рабочего состояния, стремящиеся опрокинуть кран под уклон в сторону противовеса, а также динамические нагрузки от внезапного снятия груза с крюка. При этом считают, что на стрелу крана действует нагрузка, направленная вверх по оси подъемного каната, и ветер рабочего состояния способствует опрокидыванию крана.

$$M_{\epsilon 1} + M_{\text{д}} \leq 0,95M_2. \quad (2.15)$$

$$M_{\text{д}} = 0,3M_{\text{сп}}. \quad (2.16)$$

При проверке собственной устойчивости нерабочего состояния (ветер и наклон действуют в опасную сторону)

$$M_{\epsilon 2} + M_{\text{д}2} \leq 0,95M_2, \quad (2.17)$$

где  $M_{\epsilon 2}$  – момент относительно ребра опрокидывания от ветровой нагрузки нерабочего состояния;

$M_{\text{д}2}$  – динамическая нагрузка от пульсации ветра.

Устойчивость башенного крана также проверяют на отдельных этапах монтажа. При подъеме башни из ее нижнего положения в момент отрыва от земли

$$kM_n \leq 0,95M'_1, \quad (2.18)$$

где  $k$  – коэффициент, допускающий перегрузки;

$M_n$  – опрокидывающий момент от поднимаемых частей крана;

$M_1$  – удерживающий момент от неподвижных частей крана.

При поднятой башне и неполностью смонтированном кране

$$M_{\epsilon 2} + M_{\text{д}2} \leq 0,95M''_1. \quad (2.19)$$

**Пример 2.3.** Определить коэффициенты грузовой и собственной устойчивости башенного крана при действии на кран дополнительных нагрузок и влияния уклона пути. Вес основных элементов крана в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Вес основных элементов крана

| Элемент                                      | Вес, кН   | Ордината, м | Расстояние от оси крана, м |
|--|-----------|-------------|----------------------------|
| Противовес с лебедками                       | 18        | 21,22       | 3,5                        |
| Балласт на противовес                        | 12,5<br>5 | 20,5        | 5,2                        |
| Стрела                                       | 10        | 21/30       | 11/6                       |
| Стреловой полиспаст                          | 4         | 22/30       | 11/6                       |
| Поворотная часть башни                       | 10        | 22          | 0                          |
| Башня с кабиной, порталом и ходовой тележкой | 92,5      | 6           | 0,1                        |
| Балласт на тележке                           | 150       | 1           | 0                          |

Общий вес крана  $G_k = 297$  кН; грузоподъемность при горизонтальной и наклонной стреле  $Q = 1$  и  $2$  т; вес крюковой подвески  $q = 700$  Н; высота подъема груза при горизонтальной стреле  $21$  м и при наклонной  $35$  м, вылеты соответственно  $20$  и  $10$  м, колея крана  $3,5$  м. Угол наклона  $2^\circ$ . Скорость подъема груза  $v = 0,5$  м/с, частота вращения поворотной части крана  $n = 0,6$  мин<sup>-1</sup>

**Решение.** Расстояние от центра тяжести крана до ребра опрокидывания (рис. 2.6)

$$\ell_2 = b - c - h_1 \sin \alpha;$$

$$b = 0,5 \cdot 3,5 = 1,75 \text{ м.}$$

Значения  $c$  и  $h_1$  находят по формулам

$$c = X = \sum x_i G_i / \sum G_i,$$

$$h_1 = Y = \sum y_i G_i / \sum G_i.$$

При горизонтальной стреле

$$c_T = \frac{-18 \cdot 10^3 \cdot 3,5 - 12,5 \cdot 10^3 \cdot 5,2 + 10 \cdot 10^3 \cdot 11 + 4 \cdot 10^3 \cdot 11 -}{297 \cdot 10^3} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{-92,5 \cdot 10^3 \cdot 0,1}{297 \cdot 10^3} = 0,06 \text{ м;}$$

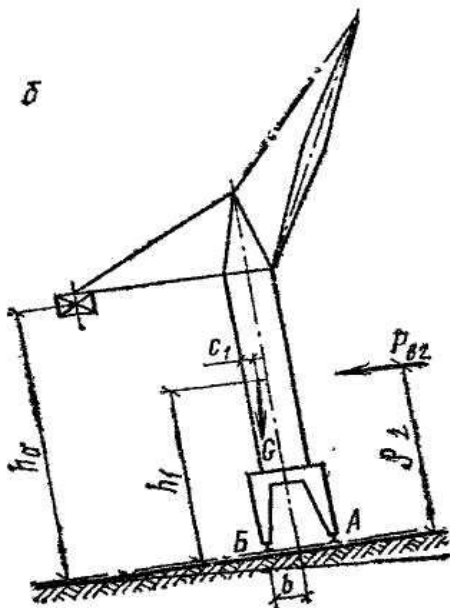
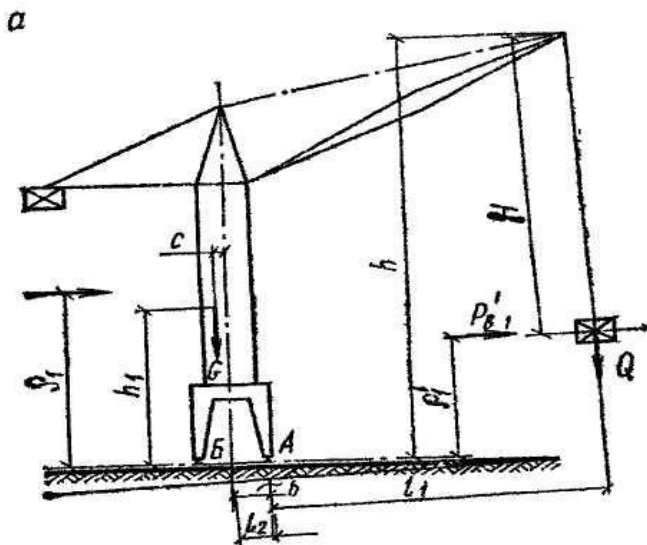


Рис. 2.6. Проверка устойчивости башенного крана:  
а – грузовой; б – собственной

$$h_{1r} = \frac{18 \cdot 10^3 \cdot 21,2 + 12,5 \cdot 10^3 \cdot 20,5 + 10 \cdot 10^3 \cdot 21 + 4 \cdot 10^3 \cdot 22 +}{297 \cdot 10^3} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+10 \cdot 10^3 \cdot 22 + 92,5 \cdot 10^3 \cdot 6 + 150 \cdot 10^3 \cdot 1}{297 \cdot 10^3} = 6,2 \text{ м};$$

$$\ell_{2r} = 1,75 - 0,06 - 6,2 \sin 2^\circ \quad 1,69 - 6,2 \cdot 0,035 = 1,47 \text{ м};$$

$$\ell_{1r} = a_2 - b \quad 2\theta - 1,75 = 18,25 \text{ м}.$$

При наклонной стреле

$$c_H = \frac{-18 \cdot 10^3 \cdot 3,5 - 12,5 \cdot 10^3 \cdot 5,2 + 10 \cdot 10^3 \cdot 6 + 4 \cdot 10^3 \cdot 6 -}{297 \cdot 10^3} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{-92,5 \cdot 10^3 \cdot 0,1}{297 \cdot 10^3} \quad -0,13 \text{ м};$$

$$h_{1H} = \frac{18 \cdot 10^3 \cdot 21,2 + 12,5 \cdot 10^3 \cdot 20,5 + 10 \cdot 10^3 \cdot 30 + 4 \cdot 10^3 \cdot 30 +}{297 \cdot 10^3} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+10 \cdot 10^3 \cdot 22 + 92,5 \cdot 10^3 \cdot 6 + 150 \cdot 10^3 \cdot 1}{297 \cdot 10^3} = 6,7 \text{ м};$$

$$\ell_{2H} = 1,75 + 0,13 - 6,7 \sin 2^\circ \quad 1,88 - 6,7 \cdot 0,035 = 1,64 \text{ м};$$

$$\ell_{1H} = a_H - b \quad 1\theta - 1,75 = 8,25 \text{ м}.$$

Момент, удерживающий кран от опрокидывания относительно ребра А

$$M_1 = G[(b + c_2) \cos \alpha - h_{1_2} \sin \alpha]$$

при горизонтальной стреле

$$M_{1r} = 297 \cdot 10^3 [(1,75 - 0,06) \cos 2^\circ - 6,2 \sin 2^\circ] =$$

$$= 297 \cdot 10^3 [(1,69 \cdot 0,99) - 6,2 \cdot 0,035] \quad 440 \cdot 10^3 \text{ Нм};$$

при наклонной стреле

$$M_{1H} = 297 \cdot 10^3 [(1,75 + 0,13) \cdot 0,99 - 6,7 \cdot 0,035] \quad 490 \cdot 10^3 \text{ Нм}.$$

Опрокидывающий момент от действия инерционных сил в период неустановившегося движения при времени запуска  $t = 1 \text{ с}$

$$M_1^H = \frac{Q + q}{g} \cdot \frac{V}{t} (a - b);$$

при горизонтальной стреле

$$M_{1r}^H = \frac{10 \cdot 10^3 + 0,7 \cdot 10^3}{9,81} \cdot \frac{0,5}{1} \cdot 18,25 = 10,2 \cdot 10^3 \text{ Нм};$$

при наклонной стреле

$$M_{1H}^D = \frac{20 \cdot 10^3 + 0,7 \cdot 10^3}{9,81} \cdot \frac{0,5}{1} \cdot 8,25 = 8,8 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Опрокидывающий момент от центробежной силы при вращении крана

$$M_2^D = \frac{Q+q}{g} \cdot \frac{\pi^2 n^2 a h}{900 - Hn^2} = \frac{(Q+q)}{1} \cdot \frac{n^2 a h}{900 - Hn^2}.$$

Считаем, что груз на 1 м приподнят над головкой рельса; при горизонтальной стреле

$$M_{2Г}^D = \frac{(10 \cdot 10^3 + 0,7 \cdot 10^3) 0,6^2 \cdot 20 \cdot 21}{900 - 20 \cdot 0,6^2} = 1830 \text{ Нм.}$$

при наклонной стреле

$$M_{2H}^D = \frac{(20 \cdot 10^3 + 0,7 \cdot 10^3) 0,6^2 \cdot 10 \cdot 35}{900 - 34 \cdot 0,6^2} = 2560 \text{ Нм.}$$

Опрокидывающий момент от ветра, действующего на кран,

$$M_3^D = P_{\epsilon 1} \rho_1 = p_{\epsilon 1} k_a k_p F \rho_1,$$

где  $F$  – подветренная площадь крана.

При горизонтальной стреле

$$F = 2,6 \cdot 21 = 5,46 \text{ м}^2;$$

$$\rho = 0,5h = 0,5 \cdot 21 = 10,5 \text{ м.}$$

При наклонной стреле, выступающей над краном на  $35 - 21 = 14$  м и ширине стрелы  $0,7$  м

$$F = 2,6 \cdot 21 + 14 \cdot 0,7 = 6,44 \text{ м}^2;$$

$$\rho = 0,5 \cdot 35 = 17 \text{ м.}$$

$$M_{3Г}^D = 250 \cdot 1,4 \cdot 0,4 \cdot 5,46 \cdot 10,5 = 8,05 \cdot 10^3 \text{ Нм};$$

$$M_{3H}^D = 250 \cdot 1,4 \cdot 0,4 \cdot 6,44 \cdot 17 = 5,4 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Опрокидывающий момент от ветра, действующего на груз (нагрузку, действующую на груз, считают приложенной к головке стрелы)

$$M_4^D = P'_{\epsilon 1} \rho'_1 = p'_{\epsilon 1} k'_a k'_p F' \rho'_1.$$

Подветренная площадь груза  $F'_{\epsilon p} = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}^2$ .

При горизонтальной стреле  $\rho_1 = 21 \text{ м}$ ;

$$M_{4Г}^D = 250 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 21 = 37,8 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

При наклонной стреле  $\rho'_1 = 35 \text{ м}$ ;

$$M_{4H}^A = 250 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 35 = 63 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Грузовой опрокидывающий момент

$$M_{ep} = Q(a - b).$$

При горизонтальной стреле

$$M_{epH} = (10 \cdot 10^3 + 0,7 \cdot 10^3) \geq 214 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

При наклонной стреле

$$M_{epH} = (20 \cdot 10^3 + 0,7 \cdot 10^3) \geq 214 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Коэффициент грузовой устойчивости:

при горизонтальной стреле

$$k_{1H} = \frac{440 \cdot 10^3 - (10,2 \cdot 10^3 + 1,83 \cdot 10^3 + 8,05 \cdot 10^3 + 37,8 \cdot 10^3)}{214 \cdot 10^3} = 1,78 > 1,15;$$

при наклонной стреле

$$k_{1H} = \frac{490 \cdot 10^3 - (8,8 \cdot 10^3 + 2,56 \cdot 10^3 + 15,4 \cdot 10^3 + 63 \cdot 10^3)}{214 \cdot 10^3} = 1,96 > 1,15.$$

Коэффициент собственной устойчивости

$$k_2 = M_2 / M_{e2} \geq 1,15.$$

Момент, удерживающий кран от опрокидывания в сторону противовеса,

$$\begin{aligned} M_2 &= G[(b - c) \cos \alpha - h_1 \sin \alpha] = \\ &= 297 \cdot 10^3 [(1,75 - 0,13) \cdot 0,99 - 6,7 \cdot 0,035] = 416 \cdot 10^3 \text{ Нм.} \end{aligned}$$

Ветровой опрокидывающий момент при нерабочем состоянии крана

$$M_{e2} = \sum P_{e2} \rho_2 = \sum p_{e2} k_a k_p F \rho_2.$$

Опрокидывающий момент, действующий на часть крана, высотой до 20 м

$$M'_{e2} = 700 \cdot 1,4 \cdot 0,4 \cdot 2,6 \cdot 21 \cdot 10 = 215 \text{ кНм.}$$

Ветровое давление на головке стрелы

$$p_{e2} = 700 + 14 \cdot 10 = 840 \text{ Па.}$$

Среднее значение давления на высоте 28 м составляет

$$\frac{700 + 840}{2} = 770 \text{ Па.}$$

Дополнительный опрокидывающий момент, действующий на стрелу,

$$M''_{e2} = 700 \cdot 1,4 \cdot 0,4 \cdot 0,7 \cdot 14 \cdot 28 = 118 \text{ кНм.}$$

Общий ветровой опрокидывающий момент

$$M_{e2} = 215 + 118 = 333 \text{ кНм.}$$

Коэффициент устойчивости

$$k_2 = \frac{416}{333} = 1,25 > 1,15.$$

Кран устойчив.

Изменяя массу балласта на тележке и общую массу крана, можно получить значения коэффициентов устойчивости в пределах 1,15–1,25. Вес отдельных элементов и координаты центров тяжести принимают по данным рассмотренного примера.

### 3. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ГРУЗОЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Специализированные грузозахватные устройства (захваты), как правило, навешивают на крюк или скобу грузоподъемного крана. Закрепление груза в захвате может осуществляться такелажником с помощью строп, крановщиком за счет дистанционного управления захватом, а также автоматически при опускании захватного устройства на груз. Возникающие в стропях усилия зависят от веса поднимаемого груза  $Q$  и от угла наклона строп.

Усилия в ветви двухветвевго стропы (рис. 3.1, а)

$$S = mg / (2 \cos \alpha), \quad (3.1)$$

где  $m$  – масса поднимаемого груза;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$\alpha$  – угол отклонения ветви стропы от вертикали.

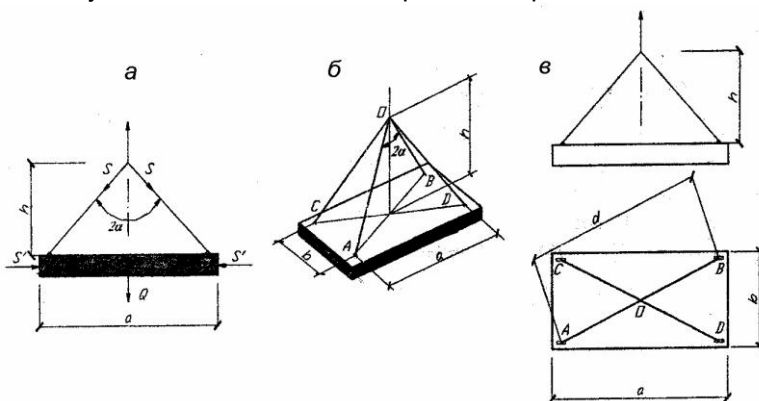


Рис. 3.1. Стропка грузов:

а – двухветвевым стропом; б – четырехветвевым стропом;

в – схема расчета к примеру

Увеличение угла  $\alpha$  приводит к возрастанию усилий в ветвях стропы и к увеличению сжатия поднимаемого груза.

Усилие, сжимающее груз.

$$S = 0,5Q \operatorname{tg} \alpha.$$

Усилие в ветви многоветвевой стропы

$$S = Q / (z \cos \alpha), \quad (3.2)$$

где  $z$  – число ветвей стропы.

**Пример 3.1.** Подобрать четырехветвевой строп для подъема плит перекрытий массой до 5,7 т. Необходимые для расчета размеры (рис. 3.1, б):  $a = 2,6$  м;  $b = 5,6$  м;  $h = 1,5$  м.

**Решение.** Расстояние между точками АВ

$$d = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{2,6^2 + 5,6^2} = 6,2 \text{ м.}$$

Длина стропы АОВ

$$\ell = 2\sqrt{(0,5d)^2 + h^2} = 2\sqrt{(0,5 \cdot 6,2)^2 + 1,5^2} = 7 \text{ м.}$$

Угол между стропами и вертикалью  $\alpha$

$$\operatorname{tg} \alpha = d / 2h = 6,2 / 2 \cdot 1,5 = 2,07; \quad \alpha = 15^\circ.$$

Усилие в ветви стропы

$$S = \frac{5,7 \cdot 10^4}{4 \cos 15^\circ} = 15800 \text{ Н.}$$

Разрывное усилие в стропе при коэффициенте  $k_3 = 6$ ;

$$S_p = k_3 S = 6 \cdot 15800 = 94800 \text{ Н} = 94,8 \text{ кН.}$$

По ГОСТ 3070-74 подбираем канат ТК 6×19+1о.с. маркировочной группы по временному сопротивлению разрыву 1600 МПа с разрывным усилием 99 кН диаметром  $d_k = 14,5$  мм.

**Многоветвевые стропы** на траверсе часто выполняют с четырьмя или двумя стропами (рис. 3.2). Стropы подбирают по растягивающим усилиям, а поперечные размеры траверсы определяют расчетом на изгиб (рис. 3.2, а) или на изгиб и одновременное сжатие (рис. 3.2, б).

Усилие в наклонной тяге

$$S = \frac{(Q + G)}{2 \cos \beta},$$

где  $Q$  – вес груза;

$G$  – вес траверсы.

Усилие, сжимающее траверсу,

$$N = \frac{(Q + G)}{2 \operatorname{tg} \beta}.$$

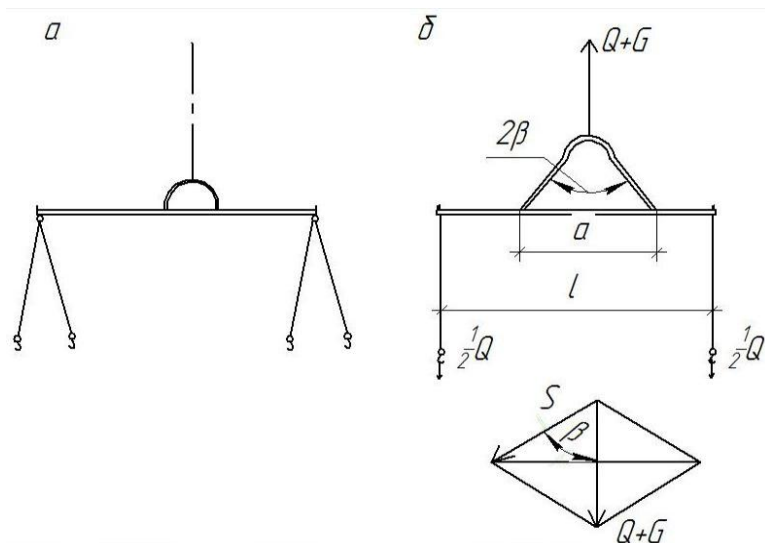


Рис. 3.2. Траверса со стропами:  
 а – со скобой для навешивания на крюк крана;  
 б – с наклонными тягами

Изгибающие моменты в сечениях траверсы у мест закрепления тяг

$$N = \frac{Q}{2} \frac{\ell - a}{2} + \frac{G}{\ell} \frac{\ell - a}{2} \frac{\ell - a}{4} = \left[ Q + \frac{G}{2} \left( 1 - \frac{a}{\ell} \right) \right] \frac{\ell - a}{4}.$$

Для траверсы без тяг

$$M_u = \left( Q + \frac{G}{2} \right) \frac{\ell}{4}.$$

Поперечное сечение траверсы, состоящей из швеллеров или прокатной угловой стали, определяют из уравнения

$$\sigma = \frac{M_u}{W_u} + \frac{N}{F} \leq [\sigma],$$

где  $W_u$  и  $F$  – соответственно момент сопротивления и площадь поперечного сечения траверсы.

**Клецевые захваты** выполняют в виде рычажных систем с загнутыми свободными концами (рис. 3.3, а). Для удерживания клещевого захвата в раскрытом положении служат защелки. Устройства, обеспечивающие захват грузов и их освобождение без участия такелажника, являются автоматическими. В полуавтоматических захватах только одна из операций (закрепление груза в захвате или его освобождение) выполняется автоматически.

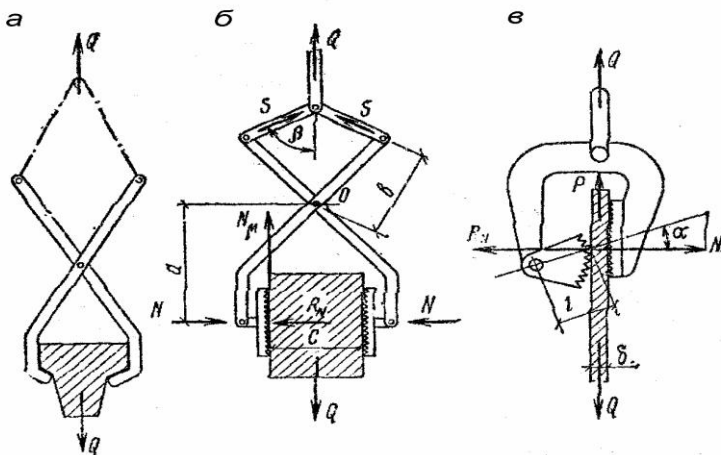


Рис. 3.3. Зажимные захваты:  
а – клещевой; б – рычажной фрикционный;  
в – эксцентриковый фрикционный

**Рычажные фрикционные захваты** удерживают груз силами трения между боковыми поверхностями грузов и прижимными колодками, шарнирно присоединенными к свободным концам рычагов (рис. 3.3, б).

Необходимая сила прижатия каждой колодки

$$N = \frac{Qk_3}{2\mu},$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса ( $k_3 = 1,1-1,25$ );

$\mu$  – коэффициент трения между поверхностями колодок и груза ( $\mu = 0,12-0,15$  – гладкая металлическая колодка по металлической поверхности груза;  $\mu = 0,3-0,4$  – то же по дереву;  $\mu = 0,4-0,5$  – рифленая металлическая поверхность колодки по металлу;  $\mu = 0,6-0,7$  – то же по бетону).

Уравнение равновесия одного из рычагов относительно шарнира О имеет вид

$$Sb - R_N a = N\mu \frac{c}{2} = 0; R_N = N;$$

тогда

$$S = \frac{N}{b} \left( a - \mu \frac{c}{2} \right) = \frac{k_c Q}{2b} \left( \frac{a}{\mu} - \frac{c}{2} \right).$$

Усилие в подъемном канате с учетом веса захвата

$$P_\kappa = Q + G, \quad P_\kappa = 2S \cdot \cos \beta,$$

откуда

$$S = \frac{(Q + G)}{2 \cos \beta}.$$

**Эксцентрикковые фрикционные захваты** применяют преимущественно для перегрузки и транспортировки в вертикальном положении листовых материалов (рис. 3.3, в). Усилие распора  $N$  и равная ему реактивная сила  $R_M$  создают силы трения, действующие между зажимаемым листом и эксцентриком  $\mu_1$ , а также между листом и задней стенкой захвата  $\mu_2$ .

Сила, удерживающая груз,

$$P = N(\mu_1 + \mu_2) = \frac{Q(\mu_1 + \mu_2)}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Для стальных листов  $\mu = 0,15$ ;  $\mu = 0,1$ . Толщина листов  $\delta = 6-36$  мм.

Уравнение моментов действующих сил относительно оси эксцентрика

$$N\ell \cdot \sin \alpha - N\mu_1 \ell \cdot \cos \alpha - N\mu_2 (\ell + \delta) \cdot \cos \alpha = 0,$$

откуда

$$\sin \alpha - \mu_1 \cdot \cos \alpha - \mu_2 \left( 1 + \frac{\delta}{\ell} \right) \cdot \cos \alpha = 0$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha - \mu_1 - \mu_2 \left( 1 + \frac{\delta}{\ell} \right) = 0,$$

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \mu_1 + \mu_2 \left( 1 + \frac{\delta}{\ell} \right),$$

что позволяет определить основные параметры захвата.

#### 4. ГРУЗОЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

**Крюковая блочная обойма.** Наиболее распространенными грузозахватными устройствами грузоподъемных машин являются одно- и двурогие грузовые крюки и грузовые скобы.

Размеры и формы крюков, а также требования к качеству их изготовления, приводятся в ГОСТ 6627–74, 6628–73 и 6619–75.

На основании данных, приведенных в табл. 4.1, в зависимости от режима работы и грузоподъемности выбирают основные размеры крюка (рис. 4.1, а). В случае необходимости их можно проверить расчетом на прочность.

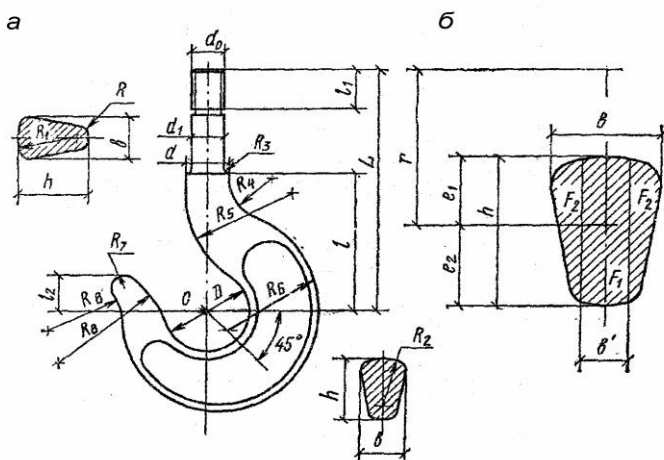


Рис. 4.1 Крюк однорогий:  
а – общий вид; б – поперечное сечение

Напряжение в стержне крюка

$$\sigma_{\delta} = \frac{Q}{F_0} \leq [\sigma_p]$$

где  $Q = mg$  – сила, действующая на крюк;

$m$  – грузоподъемность крюка;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$F_0 = \pi d_{\text{вн}}^2 / 4$ , – площадь ослабленного сечения стержня,

где  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр резьбы;

$[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение на растяжение резьбового

стержня крюка из стали 20 ( $[\sigma_p] = 55$  МПа).

Таблица 4.1

## Крюки однорогие, мм (по ГОСТ 6627-14)

| Номер<br>крюка | Грузоподъемность |                   |       | D   | O  | b  | h   | d  | d <sub>1</sub> | d <sub>0</sub> | L        |          | Не<br>менее |
|----------------|------------------|-------------------|-------|-----|----|----|-----|----|----------------|----------------|----------|----------|-------------|
|                | Ручной<br>привод | Режим ра-<br>боты |       |     |    |    |     |    |                |                | Тип<br>А | Тип<br>Б |             |
|                |                  | Л, с              | Т, Вт |     |    |    |     |    |                |                |          |          |             |
| 1              | 0,4              | 0,32              | 0,25  | 20  | 14 | 12 | 18  | 15 | 12             | M12            | 60       | 125      | 30          |
| 2              | 0,5              | 0,4               | 0,32  | 22  | 16 | 13 | 21  | 15 | 12             | M12            | 65       | 135      | 30          |
| 3              | 0,63             | 0,5               | 0,4   | 25  | 18 | 15 | 24  | 18 | 15             | M14            | 70       | 145      | 35          |
| 4              | 0,8              | 0,63              | 0,5   | 30  | 22 | 18 | 26  | 20 | 17             | M16            | 85       | 160      | 45          |
| 5              | 1                | 0,8               | 0,63  | 32  | 24 | 20 | 28  | 20 | 17             | M16            | 90       | 170      | 45          |
| 6              | 1,25             | 1                 | 0,8   | 36  | 26 | 22 | 32  | 25 | 20             | M20            | 100      | 180      | 50          |
| 7              | 1,6              | 1,25              | 1     | 40  | 30 | 24 | 36  | 25 | 20             | M20            | 110      | 195      | 60          |
| 8              | 2                | 1,6               | 1,25  | 45  | 36 | 26 | 40  | 30 | 25             | M24            | 125      | 210      | 60          |
| 9              | 2,5              | 2                 | 1,6   | 50  | 38 | 30 | 45  | 35 | 30             | M27            | 145      | 240      | 70          |
| 10             | 3,2              | 2,5               | 2     | 55  | 40 | 34 | 52  | 35 | 30             | M30            | 155      | 285      | 85          |
| 11             | 4                | 3,2               | 2,5   | 60  | 45 | 38 | 55  | 40 | 35             | M33            | 175      | 330      | 85          |
| 12             | 5                | 4                 | 3,2   | 65  | 50 | 40 | 65  | 45 | 40             | M36            | 190      | 375      | 95          |
| 13             | 6,3              | 5                 | 4     | 75  | 55 | 48 | 75  | 52 | 45             | M42            | 210      | 425      | 105         |
| 14             | 8                | 6,3               | 5     | 85  | 65 | 54 | 82  | 56 | 50             | M48            | 230      | 475      | 130         |
| 15             | 10               | 8                 | 6,3   | 95  | 75 | 60 | 90  | 62 | 55             | M52            | 260      | 520      | 140         |
| 16             | 12,5             | 10                | 8     | 110 | 85 | 65 | 100 | 68 | 60             | M56            | 280      | 580      | 150         |
| 17             | 16               | 12,5              | 10    | 120 | 90 | 75 | 115 | 80 | 70             | M64            | 325      | 640      | 180         |

Продолжение табл. 4.1

| Номер<br>крюка | Грузоподъемность |                 |       | D   | O   | b   | h   | d   | d <sub>1</sub> | d <sub>0</sub> | L     |       | Не ме-<br>нее |
|----------------|------------------|-----------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|----------------|-------|-------|---------------|
|                | Ручной<br>привод | Режим<br>работы |       |     |     |     |     |     |                |                | Тип А | Тип Б |               |
|                |                  | Л, с            | Т, Вт |     |     |     |     |     |                |                |       |       |               |
| 18             | 20               | 16              | 12,5  | 130 | 100 | 80  | 130 | 85  | 75             | Трап 70×10     | 360   | 700   | 190           |
| 109            | -                | 20              | 16    | 150 | 120 | 90  | 150 | 95  | 85             | Трап 80×10     | 420   | 760   | 210           |
| 20             | -                | 25              | 20    | 170 | 130 | 102 | 164 | 110 | 100            | Трап 90×12     | 470   | 820   | 250           |
| 21             | -                | 32              | 25    | 190 | 145 | 115 | 184 | 125 | 110            | Трап 100×12    | 525   | 875   | 285           |
| 22             | -                | 40              | 32    | 210 | 160 | 130 | 205 | 135 | 120            | Трап 110×12    | 590   | 940   | 310           |
| 23             | -                | 50              | 40    | 240 | 180 | 150 | 240 | 160 | 140            | Трап 120×16    | 660   | 1000  | 340           |

Окончание табл. 4.1

| Номер<br>крюка | 1   | 2   | R   | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> | R <sub>5</sub> | R <sub>6</sub> | R <sub>7</sub> | R <sub>8</sub> | Масса, кг |       |
|----------------|-----|-----|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-------|
|                |     |     |     |                |                |                |                |                |                |                |                | Тип А     | Тип Б |
| 1              | 20  | 10  | 3   | 11             | 11             | 1              | 8              | 22             | 25             | 4,5            | 28             | 0,16      | 0,24  |
| 2              | 20  | 10  | 4   | 12             | 12             | 1,5            | 8              | 24             | 28             | 4,5            | 28             | 0,2       | 0,3   |
| 3              | 20  | 12  | 4   | 13             | 13             | 1,5            | 9              | 26             | 32             | 5              | 30             | 0,32      | 0,47  |
| 4              | 25  | 15  | 5   | 14             | 14             | 1,5            | 10             | 30             | 37             | 5,5            | 35             | 0,45      | 0,65  |
| 5              | 25  | 16  | 5,5 | 16             | 16             | 1,5            | 11             | 32             | 40             | 6              | 38             | 0,55      | 0,75  |
| 6              | 30  | 18  | 5,5 | 18             | 18             | 2,5            | 13             | 36             | 45             | 6              | 40             | 0,8       | 1,2   |
| 7              | 30  | 20  | 6   | 20             | 20             | 2,5            | 15             | 40             | 50             | 6,5            | 45             | 1         | 1,5   |
| 8              | 35  | 22  | 6   | 30             | 22             | 2,5            | 17             | 45             | 55             | 7              | 50             | 1,5       | 2     |
| 9              | 40  | 25  | 7   | 36             | 25             | 2,5            | 18             | 50             | 65             | 8              | 55             | 2,4       | 3,2   |
| 10             | 45  | 30  | 8   | 38             | 28             | 2,5            | 20             | 55             | 70             | 10             | 60             | 3         | 4     |
| 11             | 50  | 32  | 9   | 42             | 30             | 2,5            | 21             | 60             | 80             | 10             | 70             | 4,2       | 6     |
| 12             | 55  | 34  | 9   | 45             | 35             | 2,5            | 22             | 70             | 90             | 10             | 80             | 5,4       | 8     |
| 13             | 60  | 38  | 10  | 50             | 40             | 2,5            | 25             | 75             | 100            | 11             | 85             | 8,2       | 11,5  |
| 14             | 70  | 42  | 12  | 60             | 45             | 2,5            | 28             | 85             | 110            | 12             | 95             | 11,2      | 15    |
| 15             | 75  | 48  | 13  | 65             | 50             | 2,5            | 30             | 95             | 125            | 15             | 110            | 15,6      | 21    |
| 16             | 80  | 55  | 13  | 75             | 55             | 2,5            | 34             | 110            | 140            | 18             | 120            | 22,5      | 30    |
| 17             | 90  | 60  | 14  | 84             | 62             | 2,5            | 36             | 120            | 155            | 20             | 125            | 29,5      | 40    |
| 18             | 95  | 65  | 16  | 90             | 70             | 2,5            | 40             | 130            | 170            | 21             | 140            | 40        | 52    |
| 19             | 100 | 75  | 18  | 105            | 75             | 2,5            | 45             | 150            | 200            | 22             | 170            | 55        | 70    |
| 20             | 115 | 80  | 20  | 120            | 100            | 2,5            | 50             | 17             | 220            |                | 190            | 84        | 105   |
| 21             | 130 | 95  | 23  | 135            | 110            | 5              | 60             | 180            | 245            | 32             | 210            | 115       | 140   |
| 22             | 140 | 100 | 25  | 150            | 120            | 5              | 60             | 210            | 270            | 35             | 230            | 154       | 185   |
| 23             | 150 | 120 | 30  | 170            | 130            | 5              | 65             | 240            | 320            | 40             | 280            | 230       | 275   |

Примечание: крюки типа А – короткие, типа Б – длинные.

Минимальная высота гайки крюка

$$H = \frac{4Qt}{\pi(d_0^2 - d_{ai}^2)p}, \quad (5.1)$$

где  $t$  – шаг резьбы стержня крюка;

$d_0$  – наружный диаметр резьбы;

$p$  – допускаемое удельное давление (для стали по стали  $p=15-25$  МПа).

Напряжения в теле крюка в сечениях определяются по формулам

$$\sigma_p = \frac{Q}{kF} \frac{e_1}{r - e_1} \leq [\sigma_p];$$

$$\sigma_{сж} = \frac{Q}{kF} \frac{e_2}{r - e_2},$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения;

$e_1$  – расстояние от центра тяжести сечения до наиболее растянутых волокон;

$e_2$  – расстояние от центра тяжести сечения до более сжатых волокон;

$r = 0,5D + e_1$  – радиус кривизны нейтральной оси крюка.

При трапециевидальной форме поперечного сечения (рис. 4.1,б)

$$F \approx 0,5(b + b')h = F_1 + 2F_2;$$

$$F_1 = b'h;$$

$$F_2 = \frac{b - b'}{2} \cdot \frac{h}{2};$$

$$eF_1 = \frac{1}{2}hF_1 + 2 \cdot \frac{1}{3}hF_2;$$

$$e_1 = \frac{h}{3} \cdot \frac{2b' + b}{b' + b};$$

$$e_2 = h - e_1,$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий форму сечения (трапеция, прямоугольник).

При трапециевидальной форме сечения и соотношении  $b/b' = 2-2,5$  значение  $k$  следует принимать в пределах  $0,8-0,12$ .

Крюковая блочная обойма (рис. 4.2) состоит из ограждающих листов 1 с серьгами 6, блоков 2, установленных на оси 3, и поперечины (траверсы) 5, на которой с помощью гайки 4 закреплен

крюк. Нагрузка от грузового крюка через упорный шарикоподшипник 7 передается на траверсу.

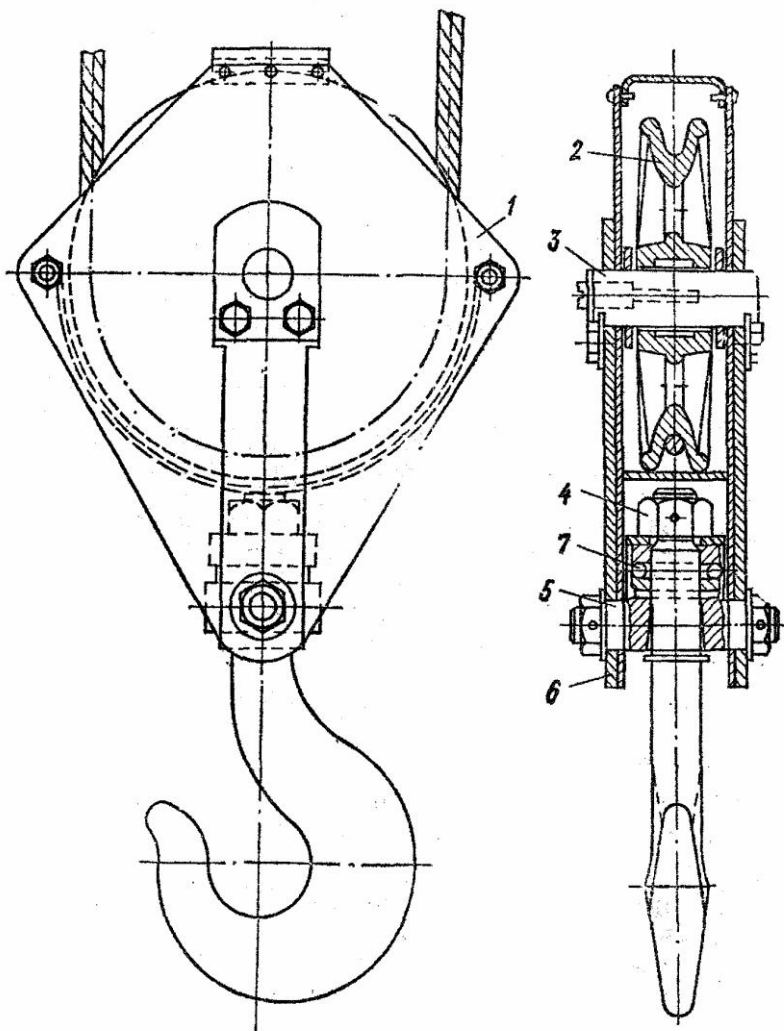


Рис.4.2. Грузовая обойма

Размеры поперечного сечения траверсы (рис. 4.3, а) определяют расчетом на изгиб

$$\sigma_u = M_u / W_u \leq [\sigma_u],$$

где  $M_u = \frac{Q}{4}(\ell - 0,5d_1)$  – изгибающий момент, возникающий в средней части траверсы;

$Q = mg$  – нагрузка, действующая на грузовой крюк;

$W_u = \frac{1}{6}(b - d_2)h^2$  – момент сопротивления при изгибе

среднего сечения траверсы.

Допускаемое напряжение на изгиб при расчете траверсы  $[\sigma_u] = 80\text{--}120$  МПа.

Диаметр шипа траверсы

$$d_{ш} = \sqrt[3]{\frac{M'_u}{0,1[\sigma_u]}}$$

где изгибающий момент, действующий на шип  $M'_u = \frac{Q}{2} \cdot \frac{S + S_1}{2}$ .

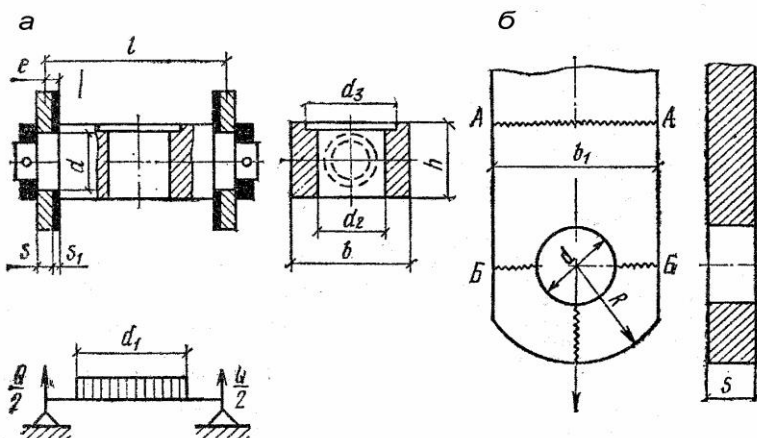


Рис. 4.3. Элементы крюковой грузовой обоймы:  
а – траверса; б – серьга

Проверка размеров шипов из расчета на удельное давление

$$P = Q/[2d_{ш}(S + S_1)].$$

Допускаемое удельное давление  $p \approx 80\text{--}150$  МПа.

Нагрузка от шипов траверсы воспринимается серьгами, поперечные размеры которых уточняются расчетом на растяжение.

Для сечения А-А (рис.4.3, б)

$$\sigma_p = Q / (2b_1 S),$$

где Q – усилие, действующее на траверсу;

$b_1$  – ширина серьги;

S – толщина серьги.

Для сечения Б – Б

$$\sigma_p = Q / [(2b_1 - d_\phi) S] \leq [\sigma_p].$$

Ось блока проверяют на изгиб

$$M_u = \frac{Q l_p}{4},$$

где  $l_p$  – расчетная длина оси.

**Пример 4.1.** Определить основные параметры грузовой крюковой обоймы автомобильного крана грузоподъемностью 6,3 т. Диаметр каната 17,5 мм. Режим работы средний ПВ=25%.

**Решение.** По табл. 4.1 подбираем крюк № 14. Для этого крюка  $D=85$  мм,  $b=54$  мм,  $h=82$  мм,  $d_\phi=48$  мм. Внутренний диаметр резьбы М48,  $d_{вн}=41,5$  мм. Площадь поперечного сечения стержня  $F_0=13,25$  см<sup>2</sup>, шаг резьбы  $t=5$  мм.

Напряжение в стержне крюка

$$\sigma_p = \frac{6,3 \cdot 10^4}{13,25 \cdot 10^{-4}} = 4 \cdot 10^7 \text{ Па} = 40 \text{ МПа} \leq 55 \text{ МПа}.$$

Минимальная высота гайки крюка

$$H = \frac{4 \cdot 6,3 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{3,14 \left[ (48 \cdot 10^{-3})^{-2} - (41,5 \cdot 10^{-3})^{-2} \right] \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,035 \text{ м} = 35 \text{ мм}.$$

Размеры сечения

$b=54$  мм = 0,054 м,  $b = (2-2,5)b'$ ; принимаем  $b=2b'$ .

$$b' = \frac{b}{2} = \frac{54}{2} = 27 \text{ мм} = 0,027 \text{ м}.$$

Площадь сечения

$$F = \frac{b + b'}{2} \cdot h = \frac{5,4 + 2,7}{2} \cdot 8,2 = 33 \text{ см}^2 = 0,0033 \text{ м}^2.$$

Расстояние от центра тяжести сечения до наиболее растянутых волокон

$$e_1 = \frac{h}{3} \cdot \frac{2b' + b}{b' + b} = \frac{8,2 \cdot (2 \cdot 2,7 + 5,4)}{3 \cdot (2,7 + 5,4)} = 3,7 \text{ см} = 0,037 \text{ м};$$

Расстояние от центра тяжести сечения до наиболее сжатых волокон

$$e_2 = h - e_1 = 8,2 - 3,7 = 4,5 \text{ см} = 0,045 \text{ м.}$$

Радиус кривизны нейтральной оси крюка

$$r = 0,5D + e_1 = 0,5 \cdot 0,85 + 3,7 = 7,95 \text{ см} = 0,0795 \text{ м.}$$

Принимаем коэффициент, учитывающий трапецеидальную форму сечения,  $k=0,12$ .

Наибольшее напряжение в сечении:

для растянутых волокон

$$\sigma_p = \frac{Q}{kF} \cdot \frac{e_1}{r - e_1} = \frac{6,3 \cdot 10^4}{0,12 \cdot 33 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{3,7}{7,95 - 3,7} = 138 \text{ МПа};$$

для сжатых волокон

$$\sigma_p = \frac{Q}{kT} \cdot \frac{e_2}{r + e_2} = \frac{6,3 \cdot 10^4}{0,12 \cdot 33 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{4,5}{7,95 + 3,7} = 57,5 \text{ МПа.}$$

Найденные значения напряжений необходимо сравнить с допускаемыми. Если они окажутся больше допускаемых, то необходимо принять крюк следующего номера по табл. 4.1.

Минимальный диаметр блока

$$D_{\text{бл}} = 18d_k = 18 \cdot 17,5 = 315 \text{ мм.}$$

Принимаем блок диаметром  $D_{\text{бл}} = 324 \text{ мм}$  для канатов диаметром 14–18 мм. Наружный диаметр  $D_1 = 380 \text{ мм}$ . Внутренний диаметр ступицы  $d = 100 \text{ мм}$ . Ширина обода  $B_1 = 50 \text{ мм}$ . Длина ступицы  $H = 50 \text{ мм}$ . Диаметр ступицы  $d_1 = 150 \text{ мм}$ . Масса 23 кг. Длину оси блока и траверсы принимают в зависимости от размеров блока, крюка и упорного подшипника.

На стержень крюка диаметром  $d_1 = 50 \text{ мм}$  может быть установлен однорядный упорный подшипник легкой серии 8210, наружный диаметр которого 78 мм. Диаметр отверстия в траверсе (рис. 4.3, а)  $d_2 = 52 \text{ мм}$ .

Диаметр углубления для установки подшипника  $d_3 = 80 \text{ мм}$ . Расстояние между ограждающими листами предварительно принимаем 120 мм, а расчетную длину траверсы  $\ell = 140 \text{ мм}$ .

Максимальный изгибающий момент

$$M_u = \frac{Q}{4} (\ell - 0,5d_1) \neq \frac{6,3 \cdot 10^4}{4} (14 \cdot 10^{-2} - 0,5 \cdot 5 \cdot 10^{-2}) = 1810 \text{ Нм.}$$

Приняв допускаемое напряжение на изгиб траверсы  $[\sigma_u] = 80 \text{ МПа}$ , определим момент сопротивления поперечного сечения на изгиб.

$$W_u = \frac{1810}{80 \cdot 10^6} = 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 22,5 \text{ см}^3.$$

Принимая ширину траверсы  $b \approx 2d_2 = 140 \text{ мм}$ , можно определить высоту поперечного сечения траверсы

$$h = \sqrt{\frac{6W_u}{b - d_2}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 22,5}{10,4 - 5,2}} = 5,1 \text{ см} \quad 51 \text{ мм}.$$

Окончательно принимаем ширину траверсы  $b = 110 \text{ мм}$ , высоту  $h = 50 \text{ мм}$ .

Диаметр шипов траверсы

$$d_{\text{ш}} = 0,8 \cdot h = 0,8 \cdot 50 = 40 \text{ мм}.$$

Толщина ограждающих листов  $S_1 = 4 \text{ мм}$ , толщина серьги  $S = 12 \text{ мм}$ , ширина серьги  $b_1 = 100 \text{ мм}$ .

Изгибающий момент, действующий на шип траверсы,

$$M'_u = \frac{6,3 \cdot 10^4}{2} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3} + 12 \cdot 10^{-3}}{2} = 252 \text{ Нм}.$$

Момент сопротивления поперечного сечения шипа

$$W'_u = \frac{\pi d_{\text{ш}}^3}{32} = 0,1(40 \cdot 10^{-3})^3 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Напряжение изгиба у основания шипа

$$\sigma_u = \frac{252}{6,4 \cdot 10^{-6}} = 39,4 \cdot 10^6 \text{ Па} = 39 \text{ МПа}.$$

Удельное давление на шип траверсы

$$p = \frac{6,3 \cdot 10^4}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} (4 + 12) \cdot 10^{-2}} = 50 \cdot 10^6 \text{ Па} = 50 \text{ МПа} [p].$$

Напряжение растяжения в ослабленном поперечном сечении серьги

$$\sigma_p = \frac{6,3 \cdot 10^4}{2(10 - 4) \cdot 10^{-2} \cdot 1,2 \cdot 10^{-2}} = 43,7 \cdot 10^6 \text{ Па} = 43,7 \text{ МПа}.$$

В ступицу блока могут быть вставлены два радиальных однорядных шарикоподшипника средней серии 309 с наружным диаметром, равным диаметру расточки в ступице блока  $d = 100 \text{ мм}$  с внутренним диаметром  $45 \text{ мм}$ . В этом случае диаметр оси блока  $d_o = 45 \text{ мм}$ .

Изгибающий момент, действующий на ось блока,

$$M''_u = \frac{Q\ell}{2 \cdot 4} = \frac{6,3 \cdot 10^4 \cdot 14 \cdot 10^{-2}}{8} = 1102 \text{ Нм}.$$

Момент сопротивления при изгибе поперечного сечения оси блока

$$W_u'' = \frac{3,14 \cdot (4,5 \cdot 10^{-2})^3}{32} \cdot 9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Напряжение изгиба в оси блока

$$\sigma_u = \frac{1102}{9 \cdot 10^{-6}} \cdot 122 \cdot 10^6 \text{ Па} = 122 \text{ МПа} [\sigma_u].$$

## 5. ЛЕБЕДКИ

Лебедки служат для подтягивания и подъема грузов. В зависимости от вида силового оборудования, лебедки могут иметь привод от двигателей внутреннего сгорания, электрических двигателей, гидродвигателей и др. Лебедки могут быть самостоятельными переносными машинами, а также могут входить в состав более сложных машин и установок: экскаваторов, кранов, подъемников и др. Грузоподъемность переносных лебедок 0,5–10 т.

Лебедка с ручным приводом (рис. 5.1, а) состоит из барабана 4, установленного на оси, закрепленной в двух ограждающих листках-щеках 5. Вращение на барабан передается одной или несколькими парами зубчатых колес 3, установленных на валах. Ведущий вал приводят во вращение одной или двумя рукоятками 1. Автоматический грузоупорный тормоз 2 обеспечивает удержание поднятого груза, а также постепенное его опускание. Иногда лебедки изготавливают с управляемыми ленточными тормозами.

На ведущем валу 6 на шпонке посажен тормозной диск 7; тормозной диск 9, объединенный с приводной шестерней, может перемещаться вдоль части вала, имеющей винтовую нарезку. Между тормозными дисками на валу свободно насажено храповое колесо 5. Направление резьбы таково, что при подъеме груза крутящий момент обеспечивает сближение тормозных дисков, между которыми зажимается храповое колесо. Собачка 10 не препятствует вращению храпового колеса в сторону, соответствующую подъему груза. При прекращении подъема или при случайном освобождении рукоятки собачка, упираясь в зубья храпового колеса, останавливает вал.

Для опускания груза вращают рукоятку в сторону, обратную подъему. Лебедки с небольшими тяговыми усилиями имеют тормоз, объединенный с рукояткой, так называемые безопасные рукоятки.

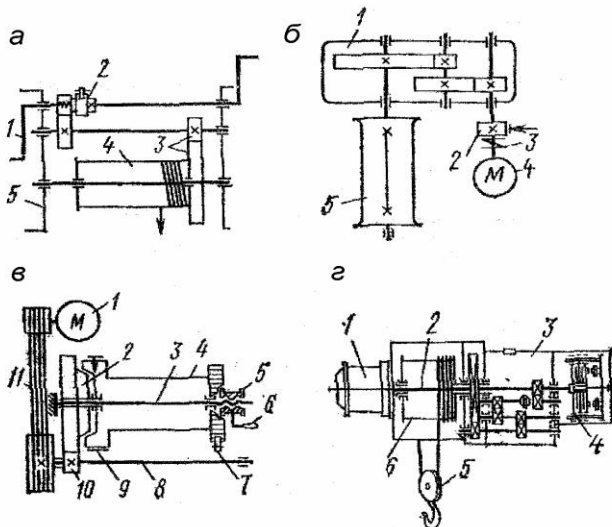


Рис. 5.1. Схемы лебедок:

- а – лебедка с ручным приводом; б – редукторная лебедка;  
в – зубчато-фрикционная лебедка; г – электроталь

Между крутящими моментами на приводном валу  $M_{пр}$  и валу барабана  $M_б$  существует зависимость

$$U = M_б / (M_{пр} \cdot \eta)$$

где  $U$  – передаточное число;

$\eta$  – КПД передачи.

Приведенная формула позволяет определять основные параметры лебедок.

**Пример 5.1.** Определить тяговое усилие лебедки, характеризующейся следующими данными; диаметр барабана  $D_б = 280$  мм, длина плеча приводной рукоятки  $l_p = 350$  мм, число рабочих 2, число зубьев зубчатых колес передачи:  $Z_1 = 16$ ,  $Z_2 = 80$ ,  $Z_3 = 14$ ,  $Z_4 = 112$ .

**Решение.** Передаточное число передачи от приводного вала до барабана

$$U = U_1 \cdot U_2 = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} = \frac{80}{16} \cdot \frac{112}{14} = 40.$$

Крутящий момент на приводном валу при усилии одного рабочего  $P_p = 200$  Н

$$M_p = 2P_p \ell_p = 2 \cdot 200 \cdot 0,35 = 140 \text{ Нм.}$$

Крутящий момент на барабане при КПД лебедки  $\eta = 0,7 - 0,8$

$$M_\sigma = M_p U \eta = 140 \cdot 40 \cdot 0,75 = 4200 \text{ Нм.}$$

Тяговое усилие лебедки

$$P_k = \frac{2M_\sigma}{D_\sigma} = \frac{2 \cdot 4200}{0,28} = 30000 \text{ Н} \quad 30 \text{ тН.}$$

Лебедки общего назначения с механическим приводом можно классифицировать по числу барабанов – одно- и многобарабанные, по виду конструктивной связи между двигателем и барабаном – на реверсивные (редукторные) и зубчато-фрикционные.

У реверсивной лебедки (рис. 5.1,б) вал электродвигателя 4 через соединительную муфту 3 постоянно соединен с редуктором 1. Выходной вал редуктора постоянно соединен с барабаном 5. Наружная поверхность соединительной муфты 2 используется в качестве тормозного шкива двухлопастного электромагнитного тормоза. Изменение направления вращения барабана (опускание или подъем груза) достигается реверсированием направления вращения вала электродвигателя при помощи пусковой электроаппаратуры.

Зубчато-фрикционные лебедки (рис. 5.1, в) изготавливают с одним или несколькими барабанами. В этих лебедках передача вращения от электродвигателя барабану происходит через зубчатую пару и фрикционное устройство, позволяющее при необходимости отключать барабан от вращающегося вала электродвигателя. От электродвигателя 1 ременной передачей 11 вращение передается валу 8. На валу закреплена ведущая шестерня 10. В постоянном зацеплении с ней находится ведомое зубчатое колесо, свободно установленное на оси 3. На этой же оси свободно вращается и может иметь незначительное осевое перемещение барабан 4.

На торцевой поверхности ведомого колеса есть фрикцион в виде конического прилива 2 или трапецеидальных в сечении кольцевых колодок, прикрепленных болтами к диску колеса. В торцевой части барабана имеется кольцевая выточка, соответствующая по форме и размерам фрикциону.

Для передачи вращения барабану его необходимо приблизить к ведомому зубчатому колесу с тем, чтобы поверхность фрикциона соприкасалась с поверхностью кольцевой выточки. Это достигается смещением барабана вдоль оси с помощью нажимной

гайки 5, снабженной рукояткой 6. Лебедка имеет храповой останов 7 и ленточный тормоз 9, управляют которым с помощью рычагов и педали.

У зубчато-фрикционных лебедок опускание груза происходит за счет его веса (свободный спуск) независимо от работы двигателя.

Электрические тали (рис. 5.1, *з*) применяют как самостоятельные машины для перемещения грузов, а также в качестве грузоподъемных механизмов некоторых кранов. По конструкции электротали – разновидность реверсивных приводных лебедок. Электротали могут быть использованы как стационарные механизмы и как передвижные при подвешивании их к тележкам, перемещающимся по монорельсу, прикрепленному к перекрытию здания или к специальным конструкциям (козлы, кронштейны и т. п.).

Движение от электродвигателя 1 с помощью вала 2, проходящего внутри барабана через редуктор 3, передается на барабан 6. На конце вала установлены тормозные диски электромагнитного дискового тормоза 4. Один конец каната закрепляют на барабане, а другим – охватывают блок грузовой обоймы 5 и закрепляют на корпусе электротали.

Потребная мощность  $N$ , кВт, электродвигателя лебедки с механическим приводом зависит от тягового усилия и скорости каната

$$N = P_k V_k / (1000 \eta),$$

где  $P_k$  – тяговое усилие, Н;

$V_k$  – скорость каната, м/с;

$\eta$  – КПД передачи от двигателя к барабану лебедки.

**Пример 5.2.** Рассчитать электрическую реверсивную редукторную лебедку, предназначенную для подъема груза массой 5000 кг со скоростью 0,12 м/с на высоту 36 м. Режим работы механизма средний ПВ=25%;  $l_0 = 10$  м.

**Решение.** *Подбор каната.* Усилие в канате определяют с учетом условий задачи: масса груза  $m_{\text{г}} = 5000$  кг, масса крюковой обоймы  $m_{\text{кр}} = 0,02 \cdot m_{\text{г}} = 0,02 \cdot 5000 = 100$  кг, кратность полиспаста  $i_n = 4$ , число блоков от груза барабана  $n = 5$ , КПД одного блока  $\eta_{\text{бл}} = 0,97$ .

$$P_k = \frac{(m_{\text{г}} + m_{\text{кр}})}{i \cdot \eta_{\text{бл}}^{i+1}} \cdot \frac{(5000 + 100) \cdot 9,81}{4 \cdot 0,95^5} = 14270 \text{ Н}.$$

Разрывное усилие каната

$$S_p = P_k k_3 = 174270 \cdot 5,5 = 78500 \text{ Н.}$$

По ГОСТ 3071-74 подбираем канат ТК 6Х37,  $d_k=13,5$  мм,  $\sigma_{\text{в}}=1600$  МПа,  $S_{\text{табл}}=82$  кН. Масса 1 м каната  $m'_k=0,61$  кг. Диаметр барабана  $D_{\text{б}}=18 d_k = 18 \cdot 13 = 234$  мм, принимаем  $D_{\text{б}}=250$  мм.

Длина каната

$$L_{\text{б}}=(i_n+1)H+\ell_0+2\pi D_{\text{б}}=(4+1)\cdot 36+10+2\cdot 3,14\cdot 0,25=192 \text{ м.}$$

Рабочая длина барабана при четырехслойной навивке каната

$$L_{\text{б}} = \frac{192 \cdot 0,013}{3,14 \cdot 4(0,25+0,013 \cdot 4)} = 0,658 \text{ м.}$$

Принимаем полезную длину барабана  $L_{\text{б}}=700$  мм.

Толщина стенок барабана

$$\delta = \frac{P_k}{d_k [\sigma_{\text{с.ж.}}]} = \frac{14270}{0,13 \cdot 80 \cdot 10^6} = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм.}$$

Подбор двигателя. Скорость навивки каната на барабан

$$V_k = V_{\text{зп}} i_n = 0,12 \cdot 4 = 0,48 \text{ м/с.}$$

Мощность на валу барабана

$$N_{\text{б}} = \frac{P_k V_k}{1000} = \frac{14270 \cdot 0,48}{1000} = 6,8 \text{ кВт.}$$

Мощность на валу двигателя

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{б}}}{\eta} = \frac{6,8}{0,85} = 8 \text{ кВт.}$$

Подбираем электродвигатель серии МТВ 311-6 мощностью  $N_{\text{дв}}=11$  кВт. Частота вращения вала  $n_{\text{дв}}=950$  мин<sup>-1</sup> при ПВ=25%. Момент инерции вала двигателя  $I_{\text{дв}}=0,225$  кг·м<sup>2</sup>. Отношение  $M_{\text{макс}}/M_{\text{ном}}=2,5$ .

Подбор редуктора. Частота вращения барабана

$$n_{\text{б}} = \frac{60V_k}{\pi [D_{\text{б}} + d_k (2m-1)]} = \frac{60 \cdot 0,48}{3,14 [0,25 + 0,013(2 \cdot 4 - 1)]} = 27 \text{ мин}^{-1}.$$

Передачное число передачи от двигателя к барабану

$$U = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{б}}} = \frac{950}{27} = 35,2.$$

По табл. 5.1 подбираем редуктор марки Ц2-250 с передаточным числом  $U_p=32,42$  для  $n_{\text{дв}}=1000$  мин<sup>-1</sup>. Мощность на ведущем валу 9,2 кВт, что обеспечивает необходимую мощность привода 8 кВт. Число зубьев зубчатых колес:  $Z_1=12$ ;  $Z_2=75$ ;  $Z_3=16$ ;

$Z_4=83$  (по табл. 5.2). Модуль зацепления первой пары  $m_1=2$  мм, второй пары –  $m_2=3$  мм. Длина зубьев шестерни первой пары  $2b_1=60$  мм и второй пары –  $b_2=75$  мм (по табл. 5.3). Частота вращения барабана

$$n_6 = \frac{n_{ог}}{U_p} = \frac{950}{35,42} = 29,3.$$

Таблица 5.1

Мощность на ведущем валу редукторов типа Ц2

| Частота вращения ведущего вала $n$ , мин <sup>-1</sup> | Передаточное число Уфакт |     |      |      |       |      |      |      |       | ПВ, % |
|--|--------------------------|-----|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|
|  | 8,32                     | 9,8 | 12,4 | 16,3 | 19,88 | 24,9 | 32,4 | 41,3 | 50,94 |       |
| Мощность на ведущем валу, кВт                          |                          |     |      |      |       |      |      |      |       |       |
| Редуктор Ц2-200  |                          |     |      |      |       |      |      |      |       |       |
| 600  | 7,7                      | 6,8 | 6,1  | 5,8  | 5,4   | 4,4  | 3    | 2,4  | 2     | 25    |
|  | 5,9                      | 5,2 | 4,2  | 3,9  | 3,6   | 2,5  | 1,6  | 1,6  | 1,1   | 40    |
|  | 4,6                      | 3,8 | 3,3  | 2,1  | 1,7   | 1,3  | 0    | 0,7  | 0,5   | 100   |
| 750  | 9,3                      | 8   | 6,7  | 6,2  | 5,5   | 5,4  | 3,8  | 3,2  | 2,7   | 25    |
|  | 7,2                      | 6,1 | 4,8  | 4,2  | 3,7   | 2,7  | 1,8  | 1,8  | 1,3   | 40    |
|  | 5,7                      | 4,8 | 3,8  | 2,6  | 2,1   | 1,7  | 1,3  | 0,8  | 0,7   | 100   |
| 1000   | 11,5                     | 10  | 8    | 7,9  | 6,6   | 5,4  | 4,1  | 4,1  | 3,7   | 25    |
|  | 8,8                      | 7,8 | 6,1  | 5,9  | 4,2   | 3,2  | 2,1  | 2,1  | 1,6   | 40    |
|  | 7,65                     | 6,3 | 5,1  | 3,4  | 2,8   | 2,2  | 1,7  | 1,1  | 0,9   | 100   |
| 1500   | 13                       | 12  | 10,8 | 10,8 | 8,7   | 6,6  | 4,8  | 4,7  | 3,9   | 25    |
|  | 11,8                     | 10  | 8,4  | 6,8  | 6,4   | 4,6  | 2,9  | 2,9  | 2,1   | 40    |
|  | 11,3                     | 9,6 | 7,5  | 5,2  | 4,2   | 3,3  | 2,6  | 1,7  | 1,4   | 100   |
| Редуктор Ц2-250  |                          |     |      |      |       |      |      |      |       |       |
| 600  | 19,3                     | 17  | 15,2 | 11,3 | 9,4   | 7    | 5,2  | 4,3  | 3,9   | 25    |
|  | 14,2                     | 13  | 9,9  | 7,2  | 6,4   | 5,5  | 3,6  | 3    | 2,6   | 40    |
|  | 7,9                      | 6,7 | 5,3  | 3,6  | 2,9   | 2,3  | 1,8  | 1,2  | 2     | 100   |
| 750  | 23                       | 20  | 16,6 | 13,5 | 11,1  | 9,4  | 7,6  | 5,6  | 4,2   | 25    |
|  | 16,6                     | 15  | 12,3 | 8,3  | 7,3   | 6,9  | 4,5  | 3,5  | 3     | 40    |
|  | 9,1                      | 8,3 | 6,6  | 4,5  | 3,7   | 2,9  | 2,2  | 1,5  | 1,2   | 100   |
| 1000   | 27,1                     | 24  | 20,5 | 17,3 | 14,1  | 11,7 | 9,2  | 7,3  | 6     | 25    |
|  | 17,8                     | 16  | 14,1 | 10,2 | 8,9   | 7,6  | 5    | 4,2  | 3,5   | 40    |
|  | 12                       | 10  | 8    | 6    | 4,9   | 3,9  | 3    | 2    | 1,6   | 100   |
| 1500   | 34                       | 30  | 25,4 | 23,8 | 19    | 16,5 | 11,9 | 9,8  | 8,5   | 25    |
|  | 25,1                     | 21  | 18,3 | 13,7 | 12    | 10,1 | 7,1  | 5,5  | 4,7   | 40    |
|  | 18,1                     | 15  | 12,1 | 8,1  | 7,4   | 5,8  | 4,5  | 3    | 2,3   | 100   |

Окончание табл. 5.1

| Частота вращения ведущего вала n, мин <sup>-1</sup> | Передачное число Цфакт        |     |      |      |       |      |      |      |       | ПВ, % |
|---|-------------------------------|-----|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|
|   | 8,32                          | 9,8 | 12,4 | 16,3 | 19,88 | 24,9 | 32,4 | 41,3 | 50,94 |       |
|   | Мощность на ведущем валу, кВт |     |      |      |       |      |      |      |       |       |
| Редуктор Ц2-350                                     |                               |     |      |      |       |      |      |      |       |       |
| 600   | 45,7                          | 40  | 34   | 26,8 | 22,3  | 16,6 | 12   | 10,2 | 9,4   | 25    |
|   | 34                            | 29  | 25,7 | 17,2 | 15,2  | 13   | 11   | 7,2  | 6,3   | 40    |
|   | 17,1                          | 16  | 12,5 | 8,5  | 7     | 5,5  | 4,3  | 4,9  | 2,3   | 100   |
| 750   | 61                            | 52  | 43,5 | 32   | 26,5  | 22,4 | 16,6 | 13,4 | 11,1  | 25    |
|   | 35,8                          | 32  | 29,2 | 19,5 | 17,7  | 16,6 | 12,9 | 8,4  | 7,3   | 40    |
|   | 21,4                          | 18  | 14,3 | 10,7 | 8,7   | 6,9  | 5,4  | 3,6  | 2,9   | 100   |
| 1000  | 71,9                          | 61  | 50,8 | 37,1 | 33,5  | 217  | 21,8 | 17,3 | 14,5  | 25    |
|   | 42,8                          | 39  | 33   | 24,1 | 21,1  | 18,1 | 15,6 | 10,2 | 9     | 40    |
|   | 28,7                          | 24  | 19,2 | 19,9 | 11,7  | 9,2  | 7,1  | 4,9  | 3,9   | 100   |
| 1500  | 79,5                          | 85  | 70   | 51,4 | 43,7  | 39,5 | 30,2 | 24,4 | 20,4  | 25    |
|   | 59                            | 50  | 43,3 | 28,6 | 25,6  | 24,1 | 20,2 | 13,3 | 11,4  | 40    |
|   | 43                            | 36  | 28,7 | 19,4 | 15,9  | 12,6 | 10,7 | 7,3  | 5,9   | 100   |
| Редуктор Ц2-500                                     |                               |     |      |      |       |      |      |      |       |       |
| 600   | 137                           | 120 | 112  | 82,5 | 75,2  | 63,2 | 42,7 | 34,5 | 31,6  | 25    |
|   | 102                           | 91  | 77   | 53,6 | 51    | 44,1 | 28,7 | 24,1 | 20,4  | 40    |
|   | 57,8                          | 49  | 38,7 | 26,3 | 23,6  | 19   | 14,3 | 10   | 8     | 100   |
| 750   | 163                           | 140 | 112  | 103  | 89,2  | 75,6 | 52,7 | 42,2 | 37    | 25    |
|   | 121                           | 106 | 84,7 | 61   | 58,7  | 51,5 | 32,8 | 28,4 | 23,3  | 40    |
|   | 72,5                          | 61  | 48,4 | 32,9 | 29,6  | 23,6 | 18,2 | 12,4 | 10    | 100   |
| 1000  | 197                           | 178 | 143  | 122  | 104   | 91,7 | 68,6 | 58,5 | 49    | 25    |
|   | 145                           | 132 | 103  | 74,2 | 65,4  | 52,8 | 40,2 | 37   | 28,5  | 40    |
|   | 100                           | 82  | 64   | 44   | 36    | 31,4 | 24   | 16,5 | 13,5  | 100   |
| 1500  | 248                           | 217 | 189  | 174  | 147   | 116  | 83   | 82,2 | 68,5  | 25    |
|   | 194                           | 169 | 145  | 98,7 | 87,7  | 74   | 53,5 | 44,5 | 38,3  | 40    |
|   | -                             | -   | -    | 66   | 54    | 43   | 36,4 | 25   | 20,2  | 100   |

Таблица 5.2

## Модули зацепления редукторов типа Ц2

| Марка редуктора | M1  | 2b1 | m2  | b2  |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| Ц2-200          | 1,5 | 46  | 2,5 | 63  |
| Ц2-250          | 2   | 60  | 3   | 75  |
| Ц2-350          | 3   | 90  | 4   | 100 |
| Ц2-500          | 4   | 120 | 6   | 150 |

Таблица 6.3

Число зубьев зубчатых колёс цилиндрических редукторов типа Ц2

| Число зубьев | Передаточные числа Уном/Уфакт |     |      |      |      |      |       |       |       |
|--------------|-------------------------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|              | 8                             | 10  | 12,5 | 16   | 20   | 25   | 31,5  | 40    | 50    |
|              | 8,32                          | 9,8 | 12,4 | 16,3 | 19,9 | 24,9 | 32,42 | 41,34 | 50,94 |
| z1           | 28                            | 25  | 21   | 21   | 18   | 15   | 12    | 12    | 10    |
| z2           | 59                            | 62  | 66   | 66   | 69   | 72   | 75    | 75    | 77    |
| z3           | 20                            | 20  | 20   | 16   | 16   | 16   | 16    | 13    | 13    |
| z4           | 79                            | 79  | 79   | 83   | 83   | 83   | 83    | 86    | 86    |

Скорость навивания каната на барабан

$$V_k = \frac{\pi(D_{\bar{o}} + d_k)n_{\bar{o}}}{60} = \frac{3,14(0,25 + 0,013) \cdot 29,3}{60} = 0,4 \text{ м / с}$$

При четвертом слое навивки

$$V_{sp} = \frac{\pi[D_{\bar{o}} + d_k(2m-1)]n_{\bar{o}}}{60} = \frac{3,14[0,25 + 0,013(2 \cdot 4 - 1)] \cdot 29,3}{60} = 0,52 \text{ м / с}$$

Скорость подъема груза

$$V_{sp} = \frac{V_k}{i_{II}} = \frac{0,4}{4} = 0,1 \text{ м / с} \approx 0,1 \cdot 60 = 6 \text{ мин}^{-1}$$

Проверка электродвигателя на перегрузочную способность в период пуска.

Статический момент на валу двигателя

$$M_{cm} = P_{\kappa} \frac{D_{\bar{o}}}{2} \cdot \frac{1}{U_p \eta} = 14270 \cdot \frac{0,25 \cdot 1}{2 \cdot 32,42 \cdot 0,85} = 65 \text{ Нм}$$

Динамический момент на валу двигателя от инерции поднимаемого груза при t=2 с.

$$M_D = \frac{P_{\kappa} \cdot V_k}{g \cdot t} \cdot \frac{D_{\bar{o}}}{2} \cdot \frac{1}{U_p \eta} = \frac{14270 \cdot 0,48 \cdot 0,25 \cdot 1}{9,81 \cdot 2 \cdot 32,42 \cdot 0,85} = 1,6 \text{ Нм}$$

Динамический момент на валу двигателя от инерции вращающихся масс элементов привода

$$M'_D = 1,25 \frac{0,105}{t} \cdot n_{\bar{o}c} \cdot I_{\bar{o}c} = 1,25 \frac{0,105}{2} \cdot 950 \cdot 0,225 = 14 \text{ Нм}$$

Пусковой момент

$$M_{II} = M_{cm} + M_{д} + M'_{д} = 65 + 1,6 + 14 = 80,6 \text{ Нм.}$$

Номинальный момент на валу двигателя

$$M_H = 9550 \frac{N_{дв}}{n_{дв}} = 9550 \frac{11}{950} = 111 \text{ Нм.}$$

$$\frac{M_{II}}{M_H} = \frac{80,6}{111} = 0,73 < 2,5.$$

Двигатель подобран с большим запасом.

## 6. МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

**Основные схемы механизмов передвижения и ходовых устройств.** Самоходные и передвижные строительные машины могут быть смонтированы на автомобилях, тракторах или же иметь собственные ходовые устройства: колесное, гусеничное, шагающее.

Колесный ход может быть рельсовым (башенные, козловые, мостовые краны) и безрельсовым. Последний выполняется на металлических (обрезиненных) и пневматических колесах. Пневмоколесами оснащаются многие погрузчики, стреловые краны и универсальные экскаваторы. При этом увеличивается срок их службы и повышается сцепление колес с дорогой. Проходимость таких машин в условиях бездорожья обеспечивается применением шин сверхнизкого давления 0,05–0,08 МПа. Рельсовый ход обеспечивает хорошую работу механизма передвижения. Его недостатки – необходимость устройства подкрановых путей и невозможность изменять направление движения крана без их перекладки.

Гусеничное ходовое оборудование имеет большую площадь соприкосновения с грунтом, небольшое удельное давление на грунт и вследствие этого обеспечивает машине хорошую проходимость. Гусеницами оснащаются самоходные краны, погрузчики, экскаваторы. Для работы машин на слабых и сильно переувлажненных грунтах применяются уширенные гусеницы.

Еще более низкое удельное давление машины на грунт обеспечивает шагающее оборудование, которым оснащаются крупные экскаваторы.

При одномоторном приводе (рис. 6, а, б) вращение от двигателя 1 через редуктор отбора мощности 2, гидротрансформатор 4, коробку передач 5 и карданные валы 3 передается переднему 6 и заднему 11 ведущим мостам. Главные передачи и дифференциал-



тормаживания ходового механизма служит ленточный тормоз, установленный на валу 20.

В механизме привода ходовой тележки башенного крана вращение от электродвигателя 24 через червячный редуктор 23 и зубчатую передачу 21 передается на ходовые катки 22.

Широкое распространение получили мотор-колеса с встроенными гидравлическими или электрическими двигателями, а также ходовые устройства с индивидуальными гидро- или электродвигателями, приводящими в движение через планетарные редукторы ведущие колеса или звездочки.

**Расчет механизма передвижения.** Расчет ходового устройства включает определение сопротивлений передвижению крана с учетом преодоления сил трения, уклона и ветровой нагрузки; определение потребной мощности привода; подбор и проверку двигателя на перегрузочную способность; определение передаточного числа передачи; составление принципиальной схемы передаточного механизма или подбор стандартного редуктора; выбор места на схеме передачи для установки тормоза, определение тормозного момента; выбор типа тормоза и растормаживающего устройства.

*Определение сопротивления передвижению.* Общее сопротивление передвижению крана представляет собой сумму сопротивлений

$$W=W_1+W_2+W_3+W_4, \quad (6.1)$$

где  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ ,  $W_4$  – сопротивления, возникающие соответственно от сил трения, уклона, ветровой нагрузки, инерционных сил.

Сопротивление передвижению от сил трения для колесных и гусеничных машин

$$W_1 = \omega_0 G, \quad (6.2)$$

где  $\omega_0$  – удельное сопротивление движению, т.е. отношение тягового усилия к силе тяжести (см. табл. 1.3);

$G$  – сила тяжести.

Сопротивление передвижению от сил трения для кранов с двухребордным колесно-рельсовым ходом вычисляют по формуле

$$W_1 = \beta \omega_0 G, \quad (6.3)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий сопротивление трению реборд о рельсы ( $\beta = 1,25-1,4$  при подшипниках скольжения,  $\beta = 2,5-5,2$  при подшипниках качения);

$\omega_0 = (\mu d + 2f) / D$  – удельное сопротивление движению,

где  $\mu$  – коэффициент трения в подшипниках колес ( $\mu = 0,1-0,12$  при подшипниках скольжения,  $\mu = 0,01-0,015$  при подшипниках качения);

$f$  – коэффициент трения качения ( $f \approx 0,0005$ );

$D$  – диаметр ходового колеса;

$d$  – диаметр шейки оси.

Сопротивление преодолению уклона определяют по формуле

$$W_2 = G \omega_i, \quad (6.4)$$

где  $\omega_i$ , – удельное сопротивление преодолению уклона, принимается равным уклону.

Сопротивление передвижению от ветровой нагрузки считают по формуле

$$W_3 = F \rho_{вепр} k_a k_p, \quad (6.5)$$

где  $\rho_{вепр}$  – удельная ветровая нагрузка принимается равной 150 Па;

$F$  – подветренная площадь;

$k_a$  – коэффициент аэродинамического сопротивления, принимается равным 1–1,4;

$k_p$  – коэффициент решетчатости, принимается равным 0,4–1.

Сопротивление преодолению инерционных сил

$$W_4 = G V / (g t), \quad (6.6)$$

где  $V$  – скорость передвижения машины, м/с;

$t$  – время разгона ( $t \approx 1-3$  с).

Машина находится в движении без пробуксовывания при условии, что сцепная сила тяги больше окружного усилия на ободу ведущего колеса (звездочки) общего сопротивления передвижению, т.е.

$$T_{сц} = G_{сц} \varphi > P_{окр} > W, \quad (6.7)$$

где  $G_{сц}$  – сцепной вес;

$\varphi$  – коэффициент сцепления с поверхностью пути (табл. 6.1);

$P_{окр}$  – окружное усилие на ободу ведущих колес (звездочек).

Сцепной вес определяется как сумма давлений на ведущие колеса или гусеницы. Сцепной вес автомобилей грузоподъемностью до 3 т

$$G_{сц} = (0,55 - 0,68)(G_a + Q),$$

где  $G_a$  – вес автомобиля;

$Q$  – вес груза.

Сцепной вес автомобилем грузоподъемностью более 3 т

$$G_{сч} = (0,68 - 0,75)(G_a + Q).$$

Сцепной вес бульдозера принимается равным весу бульдозера.

Таблица 6.1  
Коэффициент сцепления  $\varphi$  с поверхностью пути

| Характеристика пути | Железнодорожный ход | Пневмоколесный ход | Гусеничный ход |            |
|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|------------|
|                     |                     |                    | без шпор       | со шпорами |
| Рельсы:             |                     |                    |                |            |
| сухие               | 0,15–0,2            | -                  | -              | -          |
| влажные             | 0,1–0,12            | -                  | -              | -          |
| Плотный грунт:      |                     |                    |                |            |
| сухой               | -                   | 0,6                | 0,9            | 1          |
| влажный             | -                   | 0,3                | 0,8            | 0,9        |
| Бетонное покрытие:  |                     |                    |                |            |
| сухое               | -                   | 0,6                | 0,4            | 0,7        |
| обледеневшее        | -                   | 0,18               | 0,3            | 0,6        |
| замерзшее           | -                   | 0,21               | 0,4            | 0,8        |
| оттаявшее           | -                   | 0,15               | 0,2            | 0,4        |

*Определение потребной мощности привода*

Мощность двигателя, кВт,

$$N_{дв} = WV / 1000\eta , \quad (6.8)$$

где  $W$  – сопротивление передвижению, Н;

$\eta$  – КПД передачи от двигателя к ходовому колесу, звездочке гусеничного хода.

*Подбор двигателя и проверка его на перегрузочную способность*

В период неустановившегося движения (пуска, торможения) возникают моменты, отличающиеся от статического. Пусковой момент на валу двигателя

$$M_{II} = M_{СТ} + M_{Д} + M'_{Д} , \quad (6.9)$$

где  $M_{CT} = D_k (W_1 + W_2 + W_3) \frac{1}{2U\eta}$  – статический момент на валу двигателя;

$M_D = W_4 D_k / (2U\eta)$  – динамический момент на валу двигателя от поступательно движущихся масс;

$M'_D = 1,25 n_{\partial\partial} I_{\partial\partial} / (10t)$  – динамический момент, учитывающий действие инерционных сил элементов привода,

где  $D_k$  – диаметр ходового колеса (звездочки);

$\eta$  – КПД передачи;

$U = n_{\partial\partial} / n_k$  – передаточное число;

$n_{\partial\partial}, n_k$  – частота вращения валов двигателя и колеса (звездочки);

$I_{\partial\partial}$  – табличное значение момента инерции двигателя.

Номинальный момент на валу двигателя, Нм,

$$M_{ном} = 9550 N_{\partial\partial} / n_{\partial\partial}.$$

При проверке двигателя на перегрузочную способность сравнивают найденное значение  $M_n / M_{ном}$  с допустимым максимальным табличным значением  $M_{макс} / M_{ном}$ . Подбрав двигатель и проверив его на перегрузочную способность в период пуска по передаточному числу и передаваемой мощности по таблицам, подбирают стандартный редуктор или проектируют вновь систему передач.

Дальнейший расчет ведется по методике, аналогичной методике расчета грузоподъемного механизма.

**Определение давления на опоры.** Для четырехколесного ходового устройства при симметричном подвешивании груза и равномерном распределении нагрузки давление на каждое колесо (рис. 6.2, а) составляет

$$P_{макс} = (G + Q) / 4, \quad (6.10)$$

где  $G$  – вес тележки;

$Q$  – вес груза.

При несимметричном подвешивании груза (рис. 6.2, б) давление на каждое колесо

$$P_{макс} = \frac{G}{4} + \frac{Qb_2}{2b}; \quad P_{мин} = \frac{G}{4} + \frac{Qb_1}{2b}. \quad (6.11)$$

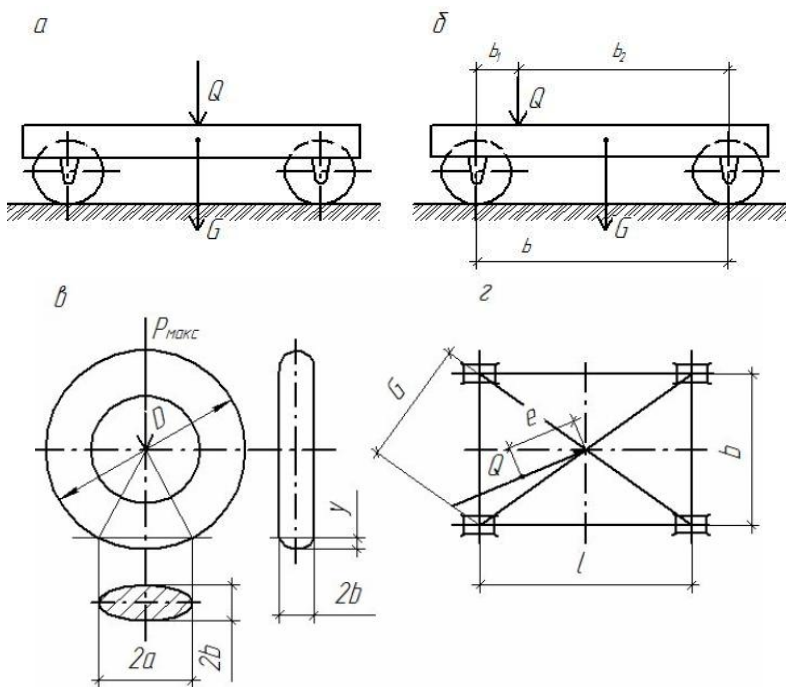


Рис.6.2. Схемы к определению давлений на опоры

При неравномерном распределении груза, при смещении равнодействующей вертикальных нагрузок, давление на наиболее нагруженную опору определяется по формулам:

при работе на неровной местности (на каменистых грунтах)

$$P_{\text{макс}} = (G + Q)l / a ; \quad (6.12)$$

при работе на выровненной площадке (рис. 6.2, в)

$$P_{\text{макс}} = \frac{G + Q}{2} \left( 0,5 + e \frac{\sqrt{l^2 + b^2}}{lb} \right) . \quad (6.13)$$

Для машин, которые могут опрокинуться при работе, максимальная нагрузка на одну опору

$$P_{\text{макс}} = G + Q . \quad (6.14)$$

Для гусеничного хода при прохождении равнодействующей вертикальных нагрузок через центр опорной площади удельное давление на грунт равномерное.

$$q = R / (nbl) \leq [q] , \quad (6.15)$$

где  $R$  – равнодействующая вертикальных нагрузок;

$n$  – число опорных гусениц;

$b$  – ширина гусеницы;

$l$  – длина опорной поверхности гусеницы;

$[q]$  – допускаемое значение удельного давления на грунт.

При смещении равнодействующей вертикальных нагрузок (в зависимости от величины смещений) удельное давление на грунт определяется по формулам:

при возможности опрокидывания машины

$$q_{\text{макс}} = R/(bk), \quad (6.16)$$

где  $b$  – ширина гусеницы;

$k$  – ширина одного звена гусеницы;

для машин, имеющих шарнирно укрепленные гусеничные тележки,

$$q_{\text{макс}} = R/(mbl), \quad (6.17)$$

где  $b$  – ширина одной гусеницы;

$l$  – длина опорной части одной гусеницы;

$m$  – число гусениц одной тележки.

Давление по эллиптическому следу баллона пневмоколесного хода распределяется практически равномерно. Нагрузка на баллон (рис. 6.2, г)

$$P_{\text{макс}} = \alpha fp,$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий работу покрышки ( $\alpha = 1$  – при повышенном давлении;  $\alpha = 1,05$  – при нормальном давлении;  $\alpha = 1,3$  – при пониженном давлении);

$f = \pi \alpha b$  – площадь эллипса, см<sup>2</sup>;

$p$  – давление в камере.

Прогиб шины

$$Y = [P_{\text{макс}} / (\pi \alpha D p)] \sqrt{D/B}, \quad (6.18)$$

где  $B$  – полная ширина шины;

$D$  – наружный диаметр шины;

$[Y] = (0,03 \dots 0,04)D$  – допустимый прогиб.

**Пример 6.1.** Определить мощность привода механизма передвижения крана на колесно-рельсовом ходу. Диаметр ходового колеса 400 мм. Распределение нагрузки на четыре колеса равномерное. Общая нагрузка 200 кН. Скорость передвижения 18 м/мин.

Уклон пути  $1,5^\circ$ . Подветренная площадь крана  $20 \text{ м}^2$ . Число ведущих колес 2.

**Решение.** Определение сопротивлений передвижению

$$W_1 = W_1' + W_1'' ,$$

где  $W_1'$  – сопротивление от сил трения скольжения в подшипниках колеса;

$W_1''$  – сопротивление от сил трения качения колеса по рельсу.

Из равенства моментов сил сопротивления и нагрузки на колесо  $G'$  (рис. 6.3) получим

$$W_1' \frac{D}{2} = G' \mu \frac{d}{2} \quad \text{и} \quad W_1'' \frac{D}{2} = G' f ,$$

откуда

$$W_1' = G' \mu \frac{d}{D} \quad \text{и} \quad W_1'' = G' f \frac{2}{D} .$$

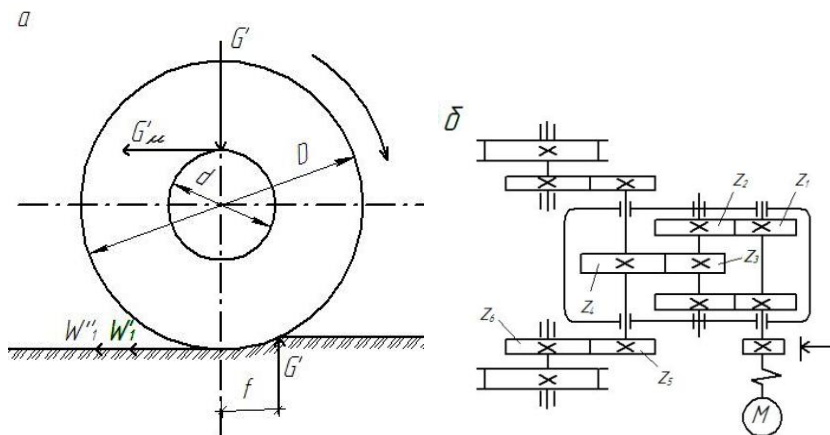


Рис. 6.3. Схемы к расчету механизма передвижения:  
а – схема к определению сопротивлений от сил трения;  
б – схема привода

Из формулы (6.2) удельное сопротивление движению

$$\omega_0 = W_1 / G' ,$$

тогда без учета влияния реборд

$$\omega_0 = (\mu d + 2f) / D .$$

Предварительно принимаем диаметр шипа вала (оси) колеса

$d = 100$  мм.

При двухребордных колесах с подшипниками качения по формуле (6.3)

$$W_1 = [200 \cdot 4(0,01 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,0005)] / 0,4 = 4 \text{ кН.}$$

Сопротивление преодолению уклона по формуле (6.4)

$$W_2 = 200 \cdot 0,026 = 5,2 \text{ кН.}$$

Сопротивление преодолению ветровой нагрузки по формуле

$$(6.5) W_3 = 20 \cdot 0,15 \cdot 1,2 \cdot 0,4 = 1,44 \text{ кН.}$$

Сопротивление преодолению инерционных сил при  $t=3$  с по формуле (6.6)

$$W_4 = 200 \cdot 0,3 / (9,81 \cdot 3) = 2,04 \text{ кН.}$$

Общее сопротивление без учета действия инерционных сил

$$W = 4 + 5,2 + 1,44 + 2,04 = 12 \text{ кН.}$$

Потребная мощность привода

$$N = WV = 12 \cdot 0,3 = 3,6 \text{ кВт.}$$

Мощность на валу двигателя

$$N_1 = \frac{N}{\eta_M} = \frac{3,6}{0,85} = 3,8 \text{ кВт.}$$

Подбираем электродвигатель переменного тока с фазным ротором типа МТ 112-6 мощностью  $N_{\text{дв}} = 5 \text{ кВт}$ ,  $n_{\text{дв}} = 920 \text{ мин}^{-1}$ , момент инерции  $I_{\text{дв}} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , масса  $m_{\text{дв}} = 88 \text{ кг}$ ,  $M_{\text{макс}} / M_{\text{ном}} = 2,5$ .

### Определение частоты вращения ведущих колес

$$n_k = \frac{60V_k}{\pi D} = \frac{60 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 0,4} = 14,3 \text{ мин}^{-1}.$$

Передаточное число передачи от двигателя к ведущим колесам

$$U = 920 / 14,3 = 64,3.$$

Статический момент на валу двигателя

$$M_{CT} = \frac{12 \cdot 10^3 \cdot 0,4}{2 \cdot 64,3 \cdot 0,85} = 43,9 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Динамический момент на валу двигателя от поступательно движущихся масс

$$M_D = \frac{2,04 \cdot 10^3 \cdot 0,4}{2 \cdot 64,3 \cdot 0,85} = 7,46 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Динамический момент на валу двигателя от масс элементов привода

$$M'_d = 1,25 \cdot \frac{920}{10 \cdot 3} \cdot 0,07 = 2,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент на валу двигателя по формуле (6.9)

$$M_{II} = 43,9 + 7,46 + 2,7 = 54 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный момент на валу двигателя

$$M_{ном} = 9550 \cdot \frac{5}{920} = 51,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверка двигателя на перегрузочную способность

$$\frac{M_{II}}{M_{ном}} = \frac{54}{51,9} = 1,04 < 2,5.$$

*Составление принципиальной схемы привода и подбор редуктора.* Принимаем схему привода, подобную изображенной на рис. 6.3, б, где кроме редуктора имеются зубчатые пары ( $Z_5 - Z_6$ ). Предварительно считаем, что передаточные числа редуктора и открытой зубчатой передачи составляют

$$U_{np} = U_p \cdot U_{5-6} = 42 \cdot 1,5 = 63.$$

По табл. 5.2 подбираем редуктор марки Ц2-250: передаточное число  $U_p = 41,34$ ;

$$Z_1 = 12; Z_2 = 75; Z_3 = 13; Z_4 = 86;$$

мощность на ведущем валу  $N_1 = 7,3 \text{ кВт}$  при частоте вращения  $n_1 = 1000 \text{ мин}^{-1}$ ; модуль зацепления быстроходной пары  $m_1 = 2 \text{ мм}$ ; тихоходной –  $m_2 = 3 \text{ мм}$ ; ширина зубчатых колес  $2b_1 = 60 \text{ мм}$ ,  $b_2 = 75 \text{ мм}$ . Передаточное число открытой передачи

$$U_{5-6} = \frac{U}{U_p} = \frac{64,3}{41,34} = 1,56.$$

Принимаем  $Z_5 = 22$ , тогда  $Z_6 = Z_5 \cdot U_{5-6} = 22 \cdot 1,56 = 34,3$ .

Принимаем  $Z_4 = 34$ . В этом случае  $U_{5-6} = \frac{Z_6}{Z_5} = \frac{34}{22} = 1,55$ .

Общее передаточное число

$$U = U_p \cdot U_{5-6} = 41,34 \cdot 1,55 = 64.$$

Уточнять скорость передвижения нет необходимости, так как общее передаточное число изменилось незначительно.

*Определение основных размеров зубчатых колес открытой передачи.* Модуль зубчатого зацепления определяется по формуле

$$m_3 \geq 1260 \sqrt[3]{N_p \cdot k_u / (\psi \cdot y \cdot z \cdot \omega \cdot [\sigma_u])}, \quad (6.19)$$

где  $N_p = N_1 \cdot k_d \cdot k_k$ ;

где  $N_1 = 45 \text{ кВт}$ , при симметричном расположении зубчатых колес относительно опор  $k_d \cdot k_k = 1,2$ ,  $k_u = 1,5$ ,  $\psi = 10$ ,  $Y = 0,383$ ,

$$Z_5 = 22, \quad \omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 22}{10} \approx 3 \text{ с}^{-1}; \quad =$$

$$n = \frac{n_{\text{дв}}}{U_p} = \frac{920}{41,34} \approx 22 \text{ мин}^{-1}, \quad [\sigma_u] = 115 \text{ МПа (для стали 40X)}.$$

По формуле (6.19)

$$m_3 \geq 1260 \sqrt[3]{\frac{4,5 \cdot 1,2 \cdot 1,5}{10 \cdot 0,383 \cdot 22 \cdot 2,3 \cdot 115}} = 8,9 \text{ мм}.$$

По СТ СЭВ 310-76 принимаем модуль  $m_3 = 9 \text{ мм}$ .

Диаметры делительных окружностей зубчатых колес

$$d_5 = m_3 \cdot z_5 = 9 \cdot 22 = 198 \text{ мм},$$

$$d_6 = m_3 \cdot z_6 = 9 \cdot 34 = 306 \text{ мм}.$$

Крутящий момент на ведущих колесах

$$M = \frac{WD}{2} = \frac{12,7 \cdot 10^3 \cdot 0,4}{2} = 2,54 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Диаметр вала при  $[\tau_{\text{сп}}] = 40 \text{ МПа}$ .

$$d_g = 10 \sqrt[3]{\frac{M}{0,2 \cdot [\tau_{\text{сп}}]}} = 10 \sqrt[3]{\frac{2,54 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 40}} = 68 \text{ мм},$$

принимаем по ГОСТ 6636-69  $d_g = 71 \text{ мм}$ . Диаметры шипов

$d_{\text{ш}} \approx (0,7 - 0,8) \cdot d_g = (0,7 - 0,8) \cdot 71 = 55 \text{ мм}$ . По диаметрам шипов

по ГОСТ 5721-75 подбираем радиальные сферические двухрядные подшипники средней серии 3611 с внутренним диаметром 55 мм и средней динамической грузоподъемностью  $[C] = 113 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .

Приведенная нагрузка для радиальных подшипников

$$Q = (x \cdot k_k \cdot R + y \cdot A) \cdot k_a \cdot k_T,$$

радиальная нагрузка на один подшипник при условии равномерно-го распределения нагрузки на четыре колеса с учетом установки у каждого колеса по два подшипника

$$R = \frac{1}{8} \cdot 200 \cdot 10^3 H = 25 \cdot 10^3 H.$$

Осевая нагрузка отсутствует  $A = 0$ ; значения коэффициентов:

$$x = 1; k_k = 1; k_o = 1,2; k_T = 1.$$

$$Q = 1 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 1 = 30 \cdot 10^3 H.$$

Отношение  $\frac{C_{табл}}{Q} = \frac{113 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3} = 3,77$  по табл. 6.2 соответству-

ет долговечности  $L=83$  млн. об., что значительно выше предельного значения.

При частоте вращения вала  $14,3 \text{ мин}^{-1}$  долговечность подобранных подшипников составит

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60n} = \frac{10^6 \cdot 83}{60 \cdot 14,3} = 97 \cdot 10^3 \text{ ч.}$$

Следует выбирать подшипники с меньшим знаком долговечности, например, радиальные сферические двухрядные шарикоподшипники типа 1611, для которых средняя динамическая грузоподъемность составляет  $[C] = 58,6 \cdot 10^3 H$ .

Отношение

$$\frac{C_{табл}}{Q} = \frac{58,6 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3} = 1,95.$$

По табл. 6.2 находим значение долговечности  $L=7,7$  млн об., или

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60n} = \frac{10^6 \cdot 7,7}{60 \cdot 14,3} = 8,97 \cdot 10^3 \text{ ч.}$$

Долговечность составляет 9 тыс. ч.

В механизмах передвижения применяют двухколесные электромагнитные тормозы и тормозы с электрогидротолкателями.

Таблица 6.2

## Значения L

| Долговечность L, млн об. | Подшипники |           |
|--------------------------|------------|-----------|
|                          | шариковые  | роликовые |
| 0,5                      | 0,793      | 0,812     |
| 5                        | 1,71       | 1,62      |
| 10                       | 2,15       | 2         |
| 20                       | 2,71       | 2,46      |
| 30                       | 3,11       | 2,77      |
| 80                       | 4,31       | 3,72      |
| 100                      | 4,64       | 3,98      |
| 200                      | 5,83       | 4,9       |
| 500                      | 7,94       | 6,45      |
| 600                      | 8,43       | 6,81      |
| 1000                     | 10         | 7,94      |
| 2000                     | 12,6       | 9,78      |
| 5000                     | 17,1       | 12,9      |
| 10000                    | 21,5       | 15,8      |
| 20000                    | 27,1       | 19,5      |
| 30000                    | 31,1       | 22        |

Тормозным шкивом обычно служит соединительная муфта, подбираемая по диаметрам валов электродвигателя и редуктора.

Момент на быстроходном валу редуктора  $M_1 = 465 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .  
Момент, подлежащий затормаживанию,

$$M'_T = M_1 \cdot \eta_M^2 = 46,5 \cdot 0,85^2 \approx 395 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Расчетный тормозной момент при среднем режиме работы

$$M_T = k_3 \cdot M'_T = 1,75 \cdot 39,5 \approx 69,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. Киев: Высш. шк., 1976.
2. Бауман В.А. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1975.
3. Бауман В.А., Быховский И.И. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов. М.: Высш. шк., 1977.
4. Бауман В.А. и др. Вибрационные машины и оборудование. М.: Высш. шк., 1977.
5. Барсов И.П. Строительные машины и оборудование. М.: Стройиздат, 1978.
6. Гальперин И.П. Строительные машины. М.: Машиностроение, 1971.
7. Дроздов Н.Е., Заленский Б.С. Курсовое и дипломное проектирование по специальности «Строительные машины и оборудование». М.: Стройиздат, 1970.
8. Заленский В.С. Строительные машины. Примеры расчетов. М.: Стойиздат, 1983.
9. Канторер С.Е. Строительные машины и экономика их применения. М.: Высш. шк., 1973.
10. Левинсон В.Н. Транспортные устройства непрерывного действия. М.: Машгиз, 1960.
11. Лысенков А.Г. Вспомогательное оборудование для перемещения грузов. М.: Машиностроение, 1977.
12. Мартынов В.Д., Сергеев В.П. Строительные машины. М.: Высш. шк., 1970.
13. Марон В.Л., Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. Минск: Вышейш. шк., 1977.
14. Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона. Киев: Выща. шк., 1977.
15. Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона. Расчетно-практические упражнения и курсовое проектирование. Киев: Выща. шк., 1982.
16. Механизированный инструктаж, отделочные машины и вибраторы. Каталог-справочник. М.: Машиностроение. 1972.
17. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Высш. шк., 1971.
18. Строительные машины: справочник / под ред. В.А. Баумана. Т.1. М.: Машиностроение. 1976.
19. Фиделев А.С., Чубук Ю.Ф. Строительные машины. Киев: Выща шк., 1979.
20. Фиделев А.С. Подъемно-транспортные машины. Киев: Выща. шк., 1976.
21. Фролов П.Т. и др. Эксплуатация и испытания строительных машин. М.: Высш. шк., 1970.
22. Чапышев Р.Р. Подъемники и легкие краны в строительстве. М.: Стройиздат, 1975.
23. Чубук Ю.Ф., Назаренко И.И., Гарнец В.В. Вибрационные машины для уплотнения бетонной смеси. Киев: Выща. шк., 1985.

Швеллеры (по ГОСТ 8240-72\*)

| Номер профиля | $h$ , мм | $b$ , мм | $d$ , мм | $t$ , мм | $A$ , см <sup>2</sup> | $I_x$ , см <sup>4</sup> | $W_x$ , см <sup>3</sup> | $i_x$ , см | $S_x$ , см <sup>3</sup> | $I_y$ , см <sup>4</sup> | $W_y$ , см <sup>3</sup> | $i_y$ , см | $z_0$ , см | $I_t$ , см <sup>4</sup> | Масса 1 м, кг |
|---------------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|---------------|
| 5             | 50       | 32       | 4,4      | 7,0      | 6,16                  | 22,8                    | 9,1                     | 1,92       | 5,59                    | 5,61                    | 2,75                    | 0,954      | 1,1        | 1                       | 4,84          |
| 6,5           | 65       | 36       | 4,4      | 7,2      | 7,51                  | 48,6                    | 15                      | 2,54       | 9                       | 8,7                     | 3,68                    | 1,08       | 1,24       | 1,2                     | 5,9           |
| 8             | 80       | 40       | 4,5      | 7,4      | 8,98                  | 89,4                    | 22,4                    | 3,16       | 13,3                    | 12,8                    | 4,75                    | 1,19       | 1,31       | 1,52                    | 7,05          |
| 10*           | 100      | 46       | 4,5      | 7,6      | 10,9                  | 174                     | 34,8                    | 3,99       | 20,4                    | 20,4                    | 6,46                    | 1,37       | 1,44       | 1,96                    | 8,59          |
| 12*           | 120      | 52       | 4,8      | 7,8      | 13,3                  | 304                     | 50,6                    | 4,78       | 29,6                    | 31,2                    | 8,52                    | 1,53       | 1,54       | 2,56                    | 10,4          |
| 14*           | 140      | 58       | 4,9      | 8,1      | 15,6                  | 491                     | 70,2                    | 5,6        | 40,8                    | 45,4                    | 11                      | 1,7        | 1,67       | 3,19                    | 12,3          |
| 16*           | 160      | 64       | 5,0      | 8,4      | 18,1                  | 747                     | 93,4                    | 6,42       | 54                      | 63,3                    | 13,8                    | 1,87       | 1,8        | 3,97                    | 14,2          |
| 18*           | 180      | 70       | 5,1      | 8,7      | 20,7                  | 1090                    | 121                     | 7,24       | 68,8                    | 86                      | 17                      | 2,04       | 1,94       | 4,87                    | 16,3          |
| 20*           | 200      | 76       | 5,2      | 9,0      | 23,4                  | 1520                    | 152                     | 8,07       | 87,8                    | 113                     | 20,5                    | 2,2        | 2,07       | 5,9                     | 18,4          |
| 22*           | 220      | 82       | 5,4      | 9,5      | 26,7                  | 2110                    | 192                     | 8,89       | 110                     | 151                     | 25,1                    | 2,37       | 2,21       | 7,48                    | 21            |
| 24*           | 240      | 90       | 5,6      | 10,0     | 30,6                  | 2900                    | 242                     | 9,73       | 139                     | 208                     | 31,6                    | 2,6        | 2,42       | 9,6                     | 24            |
| 27*           | 270      | 95       | 6,0      | 10,5     | 35,2                  | 4160                    | 308                     | 10,9       | 178                     | 262                     | 37,3                    | 2,73       | 2,47       | 11,98                   | 27,7          |
| 30*           | 300      | 100      | 6,5      | 11,0     | 40,5                  | 5810                    | 387                     | 12         | 224                     | 327                     | 43,6                    | 2,84       | 2,52       | 14,98                   | 31,8          |
| 33            | 330      | 105      | 7,0      | 11,7     | 46,5                  | 7980                    | 484                     | 13,1       | 281                     | 410                     | 51,8                    | 2,97       | 2,59       | 19,21                   | 36,5          |
| 36            | 360      | 110      | 7,5      | 12,6     | 53,4                  | 10820                   | 601                     | 14,2       | 350                     | 513                     | 61,7                    | 3,1        | 2,68       | 25,1                    | 41,9          |
| 40*           | 400      | 115      | 8,0      | 13,5     | 61,5                  | 15220                   | 761                     | 15,7       | 444                     | 642                     | 73,4                    | 3,23       | 2,75       | 32,41                   | 48,3          |

Примечание. Профили, отмеченные \*, рекомендуются по сокращенному сортаменту, утвержденному Госстроем СССР от 20.04.1984 г. № 59.

**Канат двойной свивки типа ТК конструкции 6х37  
(1 + 6 + 12 + 18) + 1 о.с. (по ГОСТ 3071 – 74)**

86

| Диаметр, мм |             |              | Площадь сечения проволоки, мм <sup>2</sup> | Расчетная масса 1 м смазанного каната, кг | Маркировочная группа по временному сопротивлению разрыву, МПа |      |      |      |      |      |
|-------------|-------------|--------------|--|---|---|------|------|------|------|------|
| Каната      | Проволоки   |              |  |   | 1400  | 1600 | 1700 | 1800 | 2000 | 2200 |
|             | центральной | в слоях      |  |   | Расчетное разрывное усилие каната, кН                         |      |      |      |      |      |
|             | 6 проволок  | 216 проволок |  |   |   |      |      |      |      |      |
| 5           | 0,24        | 0,22         | 8,48                                       | 0,08                                      | -   | -    | -    | 12   | 13   | 15   |
| 5,4         | 0,26        | 0,24         | 10,08                                      | 0,1                                       | -   | -    | -    | 14   | 16   | 18   |
| 5,8         | 0,28        | 0,26         | 11,84                                      | 0,12                                      | -   | -    | -    | 17   | 19   | 21   |
| 6,3         | 0,3         | 0,28         | 13,73                                      | 0,13                                      | -   | -    | -    | 20   | 22   | 23   |
| 6,7         | 0,32        | 0,3          | 15,75                                      | 0,15                                      | -   | -    | -    | 23   | 25   | 27   |
| 7,6         | 0,36        | 0,34         | 20,22                                      | 0,2                                       | -   | 26   | 28   | 29   | 32   | 34   |
| 8,5         | 0,4         | 0,38         | 25,25                                      | 0,25                                      | -   | 33   | 35   | 37   | 40   | 43   |
| 9           | 0,45        | 0,4          | 28,1                                       | 0,27                                      |   | 36   | 39   | 41   | 44   | 47   |
| 11,5        | 0,55        | 0,5          | 43,85                                      | 0,43                                      | -   | 57   | 61   | 62   | 67   | -    |
| 13,5        | 0,65        | 0,6          | 63,06                                      | 0,61                                      | -   | 82   | 87   | 89   | 97   | -    |
| 15,5        | 0,75        | 0,7          | 85,77                                      | 0,83                                      | 98  | 112  | 119  | 122  | 132  | -    |
| 18          | 0,85        | 0,8          | 111,99                                     | 1,09                                      | 130   | 147  | 156  | 160  | 173  | -    |
| 20          | 0,95        | 0,9          | 141,67                                     | 1,38                                      | 167   | 136  | 197  | 202  | 219  | -    |

Окончание таблицы

| Диаметр, мм |             |         | Площадь сечения проволоки, мм <sup>2</sup> | Расчетная масса 1 м смазанного каната, кг | Маркировочная группа по временному сопротивлению разрыву, МПа |      |      |      |      |      |
|-------------|-------------|---------|--|---|---|------|------|------|------|------|
| Каната      | Проволоки   |         |  |   | 1400  | 1600 | 1700 | 1800 | 2000 | 2200 |
|             | центральной | в слоях |  |   | Расчетное разрывное усилие каната, кН                         |      |      |      |      |      |
|             |             |         |  |   |   |      |      |      |      |      |
| 24.5        | 1.15        | 1.1     | 211.5                                      | 2.06                                      | 242   | 277  | 294  | 301  | 327  | -    |
| 27          | 1.3         | 1.2     | 252.26                                     | 2.46                                      | 289   | 330  | 351  | 360  | 390  | -    |
| 29          | 1.4         | 1.3     | 295.93                                     | 2.88                                      | 339   | 387  | 412  | 422  | 458  | -    |
| 33.5        | 1.6         | 1.5     | 393.78                                     | 3.84                                      | 451   | 516  | 548  | 561  | 610  | -    |
| 36.5        | 1.7         | 1.6     | 447.91                                     | 4.36                                      | 514   | 587  | 624  | 639  | 694  | -    |
| 38          | 1.8         | 1.7     | 505.54                                     | 4.92                                      | 550   | 662  | 704  | 721  | 782  | -    |
| 39.5        | 1.9         | 1.8     | 566.67                                     | 5.52                                      | 650   | 743  | 789  | 808  | 875  | -    |
| 44.5        | 2.1         | 2       | 699.34                                     | 6.81                                      | 802   | 914  | 971  | 995  | 1080 | -    |

### Исходные данные к примеру 1.1

| Но-<br>мер<br>зад. | B, м | h, м | L, м | m, т | Марка трак-<br>тора | Разрабатываемый грунт<br>$\gamma$ , кг/м <sup>3</sup> |
|--------------------|------|------|------|------|---------------------|---|
| 1                  | 2,6  | 0,8  | 30   | 7    | ДТ-75               | Песок, 1600   |
| 2                  | 2,8  | 0,9  | 32   | 7,2  | Т-75                | Песок, 1700   |
| 3                  | 3    | 1    | 34   | 9    | Т-4А                | Супесь, 1700  |
| 4                  | 3,4  | 1,1  | 26   | 14   | Т-100М              | Супесь, 1800  |
| 5                  | 3,6  | 1,2  | 36   | 16   | Т-130               | Суглинок, 1700  |
| 6                  | 3,8  | 1,3  | 38   | 19   | Т-180               | Суглинок, 1800  |
| 7                  | 4    | 1,4  | 40   | 30   | ДЭТ-250             | Глина, 1800   |
| 8                  | 3,2  | 1,5  | 42   | 22   | Т-220               | Глина, 1900   |
| 9                  | 4    | 1,6  | 44   | 22   | Т-220               | Глина, 2000   |
| 10                 | 3,8  | 0,8  | 46   | 30   | ДЭТ-250             | Песок, 1600   |
| 11                 | 3,6  | 0,9  | 48   | 19   | Т-180               | Песок, 1700   |
| 12                 | 3,4  | 1    | 40   | 16   | Т-130               | Супесь, 1700  |
| 13                 | 3,2  | 1,1  | 50   | 14   | Т-100М              | Супесь, 1800  |
| 14                 | 3    | 1,2  | 52   | 9    | Т-4А                | Суглинок, 1800  |
| 15                 | 2,8  | 1,3  | 52   | 7,2  | Т-75                | Суглинок, 1700  |
| 16                 | 2,6  | 1,4  | 54   | 7    | ДТ-75               | Глина, 1800   |
| 17                 | 2,6  | 1,5  | 56   | 7    | ДТ-75               | Глина, 1900   |
| 18                 | 2,8  | 1,6  | 58   | 7,2  | Т-75                | Глина, 2000   |
| 19                 | 3    | 1,6  | 44   | 9    | Т-4А                | Песок, 1600   |
| 20                 | 3,2  | 1,5  | 40   | 14   | Т-100М              | Песок, 1650   |
| 21                 | 3,4  | 1,4  | 35   | 16   | Т-130               | Песок, 1700   |
| 22                 | 3,6  | 1,3  | 31   | 19   | Т-180               | Супесь, 1700  |
| 23                 | 3,8  | 1,2  | 45   | 30   | ДЭТ-250             | Супесь, 1750  |
| 24                 | 4    | 1,1  | 41   | 22   | Т-220               | Глина, 1850   |
| 25                 | 3,3  | 1    | 50   | 22   | Т-220               | Глина, 1950   |

### Исходные данные к примеру 1.2

| Номер зад. | $K_4$ | $K_3$ | Z | H, м | $h_{lp},$<br>м | L, м | Базовый трактор |
|------------|-------|-------|---|------|----------------|------|-----------------|
| 1          | 2     | 1     | 3 | 1    | 0,4            | 8    | ДТ-75           |
| 2          | 3     | 1     | 1 | 1    | 0,5            | 9    | Т-75            |
| 3          | 3     | 2     | 3 | 2    | 0,6            | 10   | Т-4А            |
| 4          | 2     | 2     | 3 | 2    | 0,7            | 11   | Т-100М          |
| 5          | 2     | 1     | 1 | 2    | 0,55           | 12   | Т-130           |
| 6          | 2     | 1     | 3 | 1    | 0,65           | 12   | Т-180           |
| 7          | 3     | 1     | 1 | 2    | 0,45           | 11   | ДЭТ-250         |
| 8          | 2     | 2     | 1 | 1    | 0,4            | 10   | Т-220           |
| 9          | 3     | 1     | 3 | 2    | 0,45           | 9    | Т-220           |
| 10         | 2     | 2     | 1 | 1    | 0,5            | 8    | ДЭТ-250         |
| 11         | 3     | 1     | 3 | 2    | 0,55           | 8    | Т-180           |
| 12         | 3     | 2     | 1 | 1    | 0,6            | 9    | Т-130           |
| 13         | 2     | 2     | 1 | 2    | 0,65           | 10   | Т-100М          |
| 14         | 3     | 1     | 1 | 1    | 0,7            | 11   | Т-4А            |
| 15         | 3     | 2     | 3 | 2    | 0,7            | 12   | Т-75            |
| 16         | 3     | 1     | 3 | 2    | 0,65           | 11   | ДТ-75           |
| 17         | 2     | 2     | 1 | 1    | 0,6            | 10   | ДТ-75           |
| 18         | 3     | 1     | 3 | 2    | 0,55           | 9    | Т-75            |
| 19         | 3     | 2     | 1 | 1    | 0,5            | 8    | Т-4А            |
| 20         | 3     | 2     | 3 | 2    | 0,45           | 9    | Т-100М          |
| 21         | 2     | 1     | 1 | 1    | 0,4            | 10   | Т-130           |
| 22         | 2     | 1     | 3 | 2    | 0,4            | 11   | Т-180           |
| 23         | 3     | 1     | 3 | 2    | 0,5            | 12   | ДЭТ-250         |
| 24         | 3     | 2     | 1 | 1    | 0,6            | 10   | Т-220           |
| 25         | 2     | 2     | 1 | 1    | 0,7            | 8    | Т-220           |

### Исходные данные к примеру 1.3

| Но-<br>мер<br>зад. | q, м <sup>3</sup> | V, м <sup>3</sup> | L, м | b, м | C <sub>max</sub> ,<br>М | i    | m <sub>c</sub> , т | Базовая<br>машина | Разрабаты-<br>ваемый грунт,<br>кг/м <sup>3</sup> |
|--------------------|-------------------|-------------------|------|------|-------------------------|------|--------------------|-------------------|--|
| 1                  | 3                 | 3,5               | 300  | 2    | 0,2                     | 0,01 | 2,8                | ДТ-75             | Песок, 1500                                      |
| 2                  | 4,5               | 5,5               | 350  | 2,1  | 0,25                    | 0,02 | 4,8                | Т-75              | Песок, 1550                                      |
| 3                  | 5                 | 6                 | 400  | 2,2  | 0,3                     | 0,03 | 5,5                | Т-4А              | Супесь, 1600                                     |
| 4                  | 6                 | 7                 | 450  | 2,4  | 0,35                    | 0,04 | 6,8                | Т-100М            | Супесь, 1650                                     |
| 5                  | 7                 | 8                 | 500  | 2,6  | 0,35                    | 0,01 | 7,8                | Т-130             | Суглинок,<br>1700                                |
| 6                  | 9                 | 10                | 300  | 2,8  | 0,3                     | 0,02 | 10                 | Т-180             | Суглинок,<br>1750                                |
| 7                  | 10                | 11,5              | 350  | 3    | 0,25                    | 0,03 | 11,1               | ДЭТ-250           | Глина, 1800                                      |
| 8                  | 12                | 13,5              | 400  | 3,2  | 0,2                     | 0,04 | 16,3               | Т-220             | Глина, 1850                                      |
| 9                  | 15                | 18                | 450  | 2    | 0,2                     | 0,01 | 17                 | Т-220             | Глина, 1900                                      |
| 10                 | 3                 | 3,5               | 500  | 2,1  | 0,25                    | 0,02 | 2,8                | ДЭТ-250           | Суглинок,<br>1700                                |
| 11                 | 4,5               | 5,5               | 500  | 2,2  | 0,3                     | 0,03 | 4,8                | Т-180             | Песок, 1650                                      |
| 12                 | 5                 | 6                 | 450  | 2,4  | 0,35                    | 0,04 | 5,5                | Т-130             | Весок, 1450                                      |
| 13                 | 6                 | 7                 | 400  | 2,6  | 0,35                    | 0,01 | 6,8                | Т-100М            | Супесь, 1600                                     |
| 14                 | 7                 | 8                 | 350  | 2,8  | 0,3                     | 0,02 | 7,8                | Т-4А              | Супесь, 1650                                     |
| 15                 | 9                 | 10                | 300  | 3    | 0,25                    | 0,03 | 10                 | Т-75              | Суглинок,<br>1700                                |
| 16                 | 10                | 11,5              | 300  | 3    | 0,2                     | 0,04 | 11,1               | ДТ-75             | Суглинок,<br>1750                                |
| 17                 | 12                | 13,5              | 350  | 2,8  | 0,2                     | 0,01 | 16,3               | ДТ-75             | Глина, 1900                                      |
| 18                 | 15                | 18                | 400  | 2,6  | 0,25                    | 0,02 | 17                 | Т-75              | Глина, 1850                                      |
| 19                 | 3                 | 3,5               | 450  | 2,4  | 0,3                     | 0,03 | 2,8                | Т-4А              | Песок, 1600                                      |
| 20                 | 4,5               | 5,5               | 500  | 2,2  | 0,35                    | 0,04 | 4,8                | Т-100М            | Песок, 1550                                      |
| 21                 | 5                 | 6                 | 500  | 2,1  | 0,2                     | 0,01 | 5,5                | Т-130             | Супесь, 1700                                     |
| 22                 | 6                 | 7                 | 450  | 2    | 0,25                    | 0,02 | 6,8                | Т-180             | Супесь, 1600                                     |
| 23                 | 7                 | 8                 | 400  | 2    | 0,3                     | 0,03 | 7,8                | ДЭТ-250           | Суглинок,<br>1750                                |
| 24                 | 9                 | 10                | 350  | 2,4  | 0,35                    | 0,04 | 10                 | Т-220             | Глина, 1800                                      |
| 25                 | 10                | 11,5              | 300  | 2,6  | 0,2                     | 0,02 | 11,1               | Т-220             | Глина, 1900                                      |

### Исходные данные к примеру 1.4

| Номер зад. | $q, \text{ м}^3$ | $L_p, \text{ м}$ | $L_k, \text{ м}$ | $m_p, \text{ кг}$ | $m_k, \text{ кг}$ | $L_c, \text{ м}$ | $b, \text{ м}$ |
|------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|
| 1          | 0,5              | 4,6              | 1,1              | 1325              | 906               | 5,5              | 0,9            |
| 2          | 0,75             | 4,56             | 1,2              | 1300              | 1320              | 6,9              | 1              |
| 3          | 1                | 4,9              | 1,5              | 1385              | 1583              | 6,7              | 1,15           |
| 4          | 2                | 6,1              | 2                | 3000              | 4400              | 8,6              | 1,5            |
| 5          | 3                | 7,2              | 2,7              | 5500              | 6700              | 10,5             | 1,8            |
| 6          | 0,5              | 4,5              | 1                | 1300              | 900               | 5,4              | 0,8            |
| 7          | 0,7              | 4,5              | 1,1              | 1300              | 1320              | 6,8              | 0,9            |
| 8          | 1                | 4,8              | 1,4              | 1360              | 1500              | 6,6              | 1,1            |
| 9          | 2                | 6                | 1,9              | 2900              | 4300              | 8,5              | 1,45           |
| 10         | 3                | 7,1              | 2,6              | 5400              | 6750              | 10               | 1,75           |
| 11         | 0,5              | 4,4              | 1,1              | 1300              | 900               | 5,4              | 0,8            |
| 12         | 0,75             | 4,5              | 1,2              | 1250              | 1300              | 6,8              | 1              |
| 13         | 1                | 4,9              | 1,4              | 1300              | 1500              | 6,6              | 1,1            |
| 14         | 2                | 6                | 1,8              | 2800              | 4200              | 8                | 1,45           |
| 15         | 3                | 7,15             | 2,6              | 5400              | 6500              | 10               | 1,7            |
| 16         | 0,4              | 4,3              | 1                | 1200              | 900               | 5,45             | 0,9            |
| 17         | 0,7              | 4,45             | 1,15             | 1300              | 1300              | 6,8              | 1              |
| 18         | 1                | 4,8              | 1,5              | 1350              | 1500              | 6,6              | 1,1            |
| 19         | 2                | 6                | 1,8              | 2800              | 4200              | 8,5              | 1,45           |
| 20         | 3                | 7,1              | 2,6              | 5400              | 6600              | 10               | 1,75           |
| 21         | 0,5              | 4,45             | 0,9              | 1250              | 800               | 5,3              | 0,8            |
| 22         | 0,75             | 4,4              | 1,1              | 1250              | 870               | 5,4              | 0,75           |
| 23         | 1                | 4,8              | 0,45             | 1300              | 1540              | 6,6              | 1,1            |
| 24         | 1                | 4,7              | 1,35             | 1200              | 1400              | 6,5              | 1,1            |
| 25         | 0,75             | 4,2              | 1                | 1200              | 880               | 5,4              | 0,9            |

### Исходные данные к примеру 1.5

| Номер зад. | q, м <sup>3</sup> | m <sub>к</sub> , кг | B <sub>к</sub> , м | L <sub>к</sub> , м | H <sub>к</sub> , м | α, град | Разрабатываемый грунт |
|------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|-----------------------|
| 1          | 0,4               | 500                 | 0,6                | 1,1                | 0,58               | 45      | Песок рыхлый          |
| 2          | 1,6               | 1680                | 1,2                | 1,6                | 0,78               | 22      | Суглинок              |
| 3          | 1                 | 1290                | 1,1                | 1,5                | 0,66               | 30      | Супесь                |
| 4          | 2                 | 2320                | 1,4                | 1,8                | 1,04               | 25      | Глина легкая          |
| 5          | 0,65              | 1040                | 0,9                | 1,4                | 0,59               | 40      | Песок влажный         |
| 6          | 0,4               | 480                 | 0,6                | 1                  | 0,57               | 45      | Песок рыхлый          |
| 7          | 1,6               | 1600                | 1,2                | 1,5                | 0,77               | 22      | Суглинок              |
| 8          | 1                 | 1200                | 1,1                | 1,4                | 0,65               | 30      | Супесь                |
| 9          | 2                 | 2300                | 1,4                | 1,7                | 1,03               | 25      | Глина легкая          |
| 10         | 0,65              | 1000                | 0,9                | 1,3                | 0,58               | 40      | Песок влажный         |
| 11         | 0,4               | 470                 | 0,6                | 1,1                | 0,58               | 45      | Песок рыхлый          |
| 12         | 1,6               | 1700                | 1,2                | 1,6                | 0,76               | 20      | Суглинок              |
| 13         | 1                 | 1250                | 1                  | 1,5                | 0,6                | 30      | Супесь                |
| 14         | 2                 | 2400                | 1,3                | 1,7                | 1,03               | 26      | Глина легкая          |
| 15         | 0,65              | 1100                | 0,9                | 1,35               | 0,6                | 43      | Песок влажный         |
| 16         | 0,4               | 490                 | 0,6                | 1,1                | 0,6                | 45      | Песок рыхлый          |
| 17         | 1,6               | 1800                | 1,2                | 1,6                | 0,77               | 20      | Суглинок              |
| 18         | 1                 | 1300                | 1,1                | 1,45               | 0,55               | 30      | Супесь                |
| 19         | 2                 | 2300                | 1,4                | 1,8                | 1                  | 25      | Глина легкая          |
| 20         | 0,65              | 1150                | 0,9                | 1,4                | 0,6                | 40      | Песок влажный         |
| 21         | 0,4               | 510                 | 0,6                | 1                  | 0,58               | 45      | Песок рыхлый          |
| 22         | 1,6               | 1700                | 1,1                | 1,5                | 0,77               | 22      | Суглинок              |
| 23         | 1                 | 1300                | 1,2                | 1,45               | 0,65               | 30      | Супесь                |
| 24         | 2                 | 2350                | 1,4                | 1,7                | 1                  | 25      | Глина легкая          |
| 25         | 0,65              | 1020                | 0,8                | 1,35               | 0,59               | 40      | Песок влажный         |

### Исходные данные к примеру 2.1

| Но-<br>мер<br>зада-<br>ния | Усилие<br>на руко-<br>ятке<br>$P_p, H$ | Длина<br>рукоятки<br>$r$ , мм | $\alpha^0$ | Средний<br>диаметр<br>резьбы $d$ ,<br>мм | Высота<br>подъема $H$ ,<br>мм | Ход руко-<br>ятки $a$ , мм |
|----------------------------|--|-------------------------------|------------|--|-------------------------------|----------------------------|
| 1                          | 150                                    | 600                           | $4^0$      | 40                                       | 250                           | 400                        |
| 2                          | -"                                     | -"                            | -"         | 45                                       | -"                            | 300                        |
| 3                          | -"                                     | -"                            | -"         | 30                                       | -"                            | 400                        |
| 4                          | -"                                     | -"                            | -"         | 20                                       | -"                            | 300                        |
| 5                          | -"                                     | -"                            | -"         | 30                                       | -"                            | 400                        |
| 6                          | -"                                     | -"                            | -"         | 20                                       | -"                            | 300                        |
| 7                          | -"                                     | -"                            | -"         | 40                                       | -"                            | 450                        |
| 8                          | -"                                     | -"                            | -"         | 50                                       | -"                            | 500                        |
| 9                          | -"                                     | -"                            | -"         | 40                                       | -"                            | 400                        |
| 10                         | -"                                     | -"                            | -"         | 30                                       | -"                            | 300                        |
| 11                         | -"                                     | -"                            | -"         | 20                                       | -"                            | 450                        |
| 12                         | -"                                     | -"                            | -"         | 40                                       | -"                            | 500                        |
| 13                         | -"                                     | -"                            | -"         | 30                                       | -"                            | 450                        |
| 14                         | -"                                     | -"                            | -"         | 30                                       | -"                            | 500                        |
| 15                         | -"                                     | -"                            | -"         | 40                                       | -"                            | 300                        |
| 16                         | -"                                     | -"                            | -"         | 30                                       | -"                            | 400                        |
| 17                         | -"                                     | -"                            | -"         | 20                                       | -"                            | 400                        |
| 18                         | -"                                     | -"                            | -"         | 40                                       | -"                            | 400                        |
| 19                         | -"                                     | -"                            | -"         | 45                                       | -"                            | 400                        |
| 20                         | -"                                     | -"                            | -"         | 50                                       | -"                            | 300                        |
| 21                         | -"                                     | -"                            | -"         | 40                                       | -"                            | 400                        |
| 22                         | -"                                     | -"                            | -"         | 45                                       | -"                            | 500                        |
| 23                         | -"                                     | -"                            | -"         | 50                                       | -"                            | 300                        |
| 24                         | -"                                     | -"                            | -"         | 40                                       | -"                            | 400                        |
| 25                         | -"                                     | -"                            | -"         | 45                                       | -"                            | 500                        |

### Исходные данные к примеру 2.2

| Номер задания | Масса поднимаемого груза $m_{гр}$ , т | Высота подъема груза $H$ , мм | Усилия на приводной рукоятке $p$ , Н | Длина рукоятки, мм | Диаметр поршня насоса $d$ , мм |
|---------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| 1             | 20                                    | 150                           | 150                                  | 500                | 20                             |
| 2             | 19                                    | 160                           | 160                                  | 600                | 21                             |
| 3             | 18                                    | 170                           | 170                                  | 700                | 22                             |
| 4             | 17                                    | 180                           | 180                                  | 500                | 23                             |
| 5             | 16                                    | 190                           | 190                                  | 500                | 24                             |
| 6             | 15                                    | 200                           | 200                                  | 700                | 25                             |
| 7             | 14                                    | 210                           | 210                                  | 500                | 26                             |
| 8             | 13                                    | 220                           | 220                                  | 600                | 27                             |
| 9             | 12                                    | 230                           | 230                                  | 700                | 28                             |
| 10            | 11                                    | 240                           | 240                                  | 500                | 29                             |
| 11            | 10                                    | 250                           | 250                                  | 600                | 30                             |
| 12            | 12                                    | 220                           | 260                                  | 700                | 31                             |
| 13            | 14                                    | 200                           | 270                                  | 500                | 32                             |
| 14            | 16                                    | 170                           | 270                                  | 600                | 33                             |
| 15            | 18                                    | 150                           | 300                                  | 700                | 34                             |
| 16            | 19                                    | 150                           | 200                                  | 500                | 35                             |
| 17            | 20                                    | 200                           | 200                                  | 500                | 30                             |
| 18            | 21                                    | 250                           | 200                                  | 500                | 35                             |
| 19            | 17                                    | 165                           | 150                                  | 500                | 22                             |
| 20            | 16                                    | 175                           | 160                                  | 450                | 24                             |
| 21            | 15                                    | 185                           | 170                                  | 550                | 26                             |
| 22            | 20                                    | 195                           | 180                                  | 600                | 28                             |
| 23            | 23                                    | 200                           | 150                                  | 500                | 20                             |
| 24            | 20                                    | 180                           | 150                                  | 600                | 24                             |
| 25            | 20                                    | 240                           | 195                                  | 600                | 38                             |

### Исходные данные к примеру 2.3

| Номер задания | Q, м    | q, Н | 2в, м | $\alpha$ , град. | V, м/с | n, мин <sup>-1</sup> |
|---------------|---------|------|-------|------------------|--------|----------------------|
| 1             | 1;2     | 500  | 4.0   | 1.5              | 0.3    | 0.8                  |
| 2             | 1.1;2.2 | 600  | 3.9   | 2                | 0.4    | 0.7                  |
| 3             | 1.2;2.4 | 700  | 3.8   | 2.5              | 0.5    | 0.6                  |
| 4             | 1.3;2.6 | 800  | 3.7   | 3                | 0.5    | 0.8                  |
| 5             | 1.4;2.8 | 500  | 3.6   | 1.5              | 0.4    | 0.7                  |
| 6             | 1.5;3.0 | 600  | 3.5   | 2                | 0.3    | 0.6                  |
| 7             | 1;2     | 700  | 3.5   | 2.5              | 0.3    | 0.8                  |
| 8             | 1.1;2.2 | 800  | 3.6   | 3                | 0.4    | 0.6                  |
| 9             | 1.2;2.4 | 500  | 3.7   | 1.5              | 0.5    | 0.7                  |
| 10            | 1.3;2.6 | 600  | 3.8   | 2                | 0.5    | 0.8                  |
| 11            | 1.4;2.8 | 700  | 3.9   | 2.5              | 0.4    | 0.6                  |
| 12            | 1.5;3.0 | 800  | 4.0   | 3                | 0.3    | 0.7                  |
| 13            | 1;2     | 500  | 3.5   | 1.5              | 0.3    | 0.8                  |
| 14            | 1.1;2.2 | 600  | 3.6   | 2                | 0.4    | 0.6                  |
| 15            | 1.2;2.4 | 700  | 3.7   | 2.5              | 0.5    | 0.7                  |
| 16            | 1.3;2.6 | 800  | 3.8   | 3                | 0.5    | 0.8                  |
| 17            | 1.4;2.8 | 500  | 3.9   | 1.5              | 0.4    | 0.6                  |
| 18            | 1.5;3.0 | 600  | 4.0   | 2                | 0.3    | 0.7                  |
| 19            | 1;2     | 700  | 4.0   | 2.5              | 0.3    | 0.8                  |
| 20            | 1.2;2.4 | 800  | 3.6   | 3                | 0.4    | 0.6                  |
| 21            | 1.5;3.0 | 500  | 3.5   | 3                | 0.5    | 0.8                  |
| 22            | 1.4;2.8 | 400  | 4.0   | 2                | 0.4    | 0.8                  |
| 23            | 1.3;2.6 | 500  | 4.5   | 2                | 0.5    | 0.7                  |
| 24            | 1.2;2.4 | 600  | 4.0   | 1.5              | 0.4    | 0.7                  |
| 25            | 1.5;3.0 | 700  | 4.0   | 1.5              | 0.3    | 0.7                  |

### Исходные данные к примеру 3.1

| Номер задания | Вес груза Q, т | Ширина конструкции м, (а) | Длина конструкции м, (в) | Высота стропа, м (h) |
|---------------|----------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1             | 2.0            | 1.0                       | 6.6                      | 4.0                  |
| 2             | 2.2            | 6.0                       | 6.0                      | 3.5                  |
| 3             | 2.4            | 1.5                       | 6.0                      | 4.0                  |
| 4             | 2.6            | 1.8                       | 5.4                      | 2.5                  |
| 5             | 2.8            | 2.0                       | 4.5                      | 2.2                  |
| 6             | 3.0            | 1.0                       | 6.0                      | 3.0                  |
| 7             | 3.2            | 1.5                       | 5.4                      | 3.5                  |
| 8             | 3.4            | 1.8                       | 4.5                      | 2.8                  |
| 9             | 3.6            | 2.0                       | 3.2                      | 2.2                  |
| 10            | 3.8            | 2.4                       | 6.0                      | 3.0                  |
| 11            | 4.0            | 3.0                       | 3.0                      | 2.2                  |
| 12            | 4.2            | 1.0                       | 5.4                      | 3.5                  |
| 13            | 4.4            | 1.5                       | 4.5                      | 2.5                  |
| 14            | 4.6            | 1.8                       | 4.2                      | 2.0                  |
| 15            | 4.8            | 2.0                       | 3.2                      | 1.5                  |
| 16            | 5.0            | 2.4                       | 4.5                      | 2.5                  |
| 17            | 5.2            | 3.0                       | 4.5                      | 2.0                  |
| 18            | 5.4            | 1.0                       | 5.4                      | 4.0                  |
| 19            | 5.6            | 1.5                       | 4.5                      | 3.5                  |
| 20            | 5.8            | 1.8                       | 3.2                      | 2.2                  |
| 21            | 6.0            | 2.0                       | 6.6                      | 4.0                  |
| 22            | 6.2            | 2.4                       | 3.0                      | 1.5                  |
| 23            | 6.4            | 3.0                       | 4.5                      | 3.0                  |
| 24            | 6.6            | 1.5                       | 4.5                      | 2.0                  |
| 25            | 7.0            | 3.0                       | 4.5                      | 3.0                  |

### Исходные данные к примеру 4.1

| Номер задания | Q, т | ПВ, % | d <sub>к</sub> , мм |
|---------------|------|-------|---------------------|
| 1             | 1    | 15    | 11                  |
| 2             | 2,5  | 25    | 15,5                |
| 3             | 6,3  | 25    | 20                  |
| 4             | 4    | 25    | 17,5                |
| 5             | 1,6  | 12    | 14                  |
| 6             | 1,5  | 15    | 11                  |
| 7             | 2,6  | 25    | 15,5                |
| 8             | 6,5  | 25    | 20                  |
| 9             | 4,5  | 25    | 17,5                |
| 10            | 1,8  | 15    | 14                  |
| 11            | 1,4  | 15    | 11                  |
| 12            | 2,7  | 25    | 15,5                |
| 13            | 6,4  | 25    | 20                  |
| 14            | 4,3  | 25    | 17,5                |
| 15            | 1,7  | 15    | 14                  |
| 16            | 1,2  | 15    | 11                  |
| 17            | 2,85 | 25    | 15,5                |
| 18            | 6,7  | 25    | 20                  |
| 19            | 4,2  | 25    | 17,5                |
| 20            | 1,5  | 14    | 14                  |
| 21            | 6,4  | 40    | 20                  |
| 22            | 4,5  | 40    | 17,5                |
| 23            | 1,4  | 15    | 20                  |
| 24            | 1,6  | 25    | 11                  |
| 25            | 1,6  | 25    | 14                  |

### Исходные данные к примеру 5.1

| Номер задания | Диаметр барабана<br>$D_b$ , мм | Длина рукоятки<br>$l$ р, мм | Число зубьев зубчатых колес |       |       |       | Число рабочих |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|---------------|
|               |                                |                             | $Z_1$                       | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ |               |
| 1             | 380                            | 400                         | 18                          | 80    | 14    | 80    | 2             |
| 2             | 320                            | 350                         | 16                          | 71    | 16    | 85    | 2             |
| 3             | 300                            | 320                         | 20                          | 79    | 18    | 83    | 1             |
| 4             | 250                            | 350                         | 16                          | 83    | 18    | 81    | 1             |
| 5             | 200                            | 350                         | 22                          | 77    | 14    | 85    | 2             |
| 6             | 400                            | 400                         | 18                          | 82    | 14    | 82    | 1             |
| 7             | 370                            | 400                         | 17                          | 70    | 15    | 86    | 2             |
| 8             | 320                            | 330                         | 20                          | 80    | 18    | 84    | 2             |
| 9             | 300                            | 350                         | 15                          | 82    | 17    | 80    | 2             |
| 10            | 250                            | 350                         | 16                          | 81    | 17    | 80    | 2             |
| 11            | 200                            | 350                         | 20                          | 79    | 14    | 80    | 1             |
| 12            | 400                            | 390                         | 17                          | 84    | 16    | 85    | 1             |
| 13            | 360                            | 350                         | 21                          | 78    | 17    | 83    | 1             |
| 14            | 310                            | 320                         | 17                          | 81    | 18    | 80    | 2             |
| 15            | 330                            | 350                         | 19                          | 79    | 13    | 84    | 2             |
| 16            | 300                            | 280                         | 14                          | 82    | 14    | 80    | 2             |
| 17            | 250                            | 250                         | 15                          | 80    | 14    | 90    | 1             |
| 18            | 200                            | 350                         | 19                          | 80    | 17    | 80    | 1             |
| 19            | 180                            | 350                         | 21                          | 80    | 17    | 81    | 1             |
| 20            | 190                            | 320                         | 17                          | 80    | 14    | 79    | 2             |
| 21            | 200                            | 360                         | 16                          | 80    | 15    | 80    | 2             |
| 22            | 220                            | 350                         | 22                          | 80    | 17    | 83    | 2             |
| 23            | 250                            | 340                         | 15                          | 81    | 18    | 80    | 1             |
| 24            | 280                            | 340                         | 22                          | 78    | 13    | 80    | 1             |
| 25            | 300                            | 330                         | 17                          | 73    | 14    | 80    | 1             |

### Исходные данные к примеру 5.2

| Номер задания | $m_{\tau}^{ep}$ | $V_{\tau}^{ep}$ , м/с | H, м | $l_0$ , м | $i_n$ | Тип тормоза       |
|---------------|-----------------|-----------------------|------|-----------|-------|-------------------|
| 1             | 4               | 0,2                   | 60   | 10        | 4     | Пружинный         |
| 2             | 2               | 0,3                   | 50   | 12        | 2     | С гидротолкателем |
| 3             | 2,5             | 0,4                   | 20   | 15        | 3     | С гидротолкателем |
| 4             | 3               | 0,3                   | 30   | 12        | 3     | Грузовой          |
| 5             | 4               | 0,15                  | 40   | 10        | 4     | С гидротолкателем |
| 6             | 5               | 0,2                   | 60   | 10        | 4     | Пружинный         |
| 7             | 6               | 0,3                   | 50   | 12        | 2     | С гидротолкателем |
| 8             | 7               | 0,4                   | 20   | 15        | 3     | С гидротолкателем |
| 9             | 8               | 0,3                   | 30   | 12        | 3     | Грузовой          |
| 10            | 9               | 0,15                  | 40   | 10        | 4     | С гидротолкателем |
| 11            | 10              | 0,2                   | 60   | 20        | 5     | Пружинный         |
| 12            | 9               | 0,3                   | 50   | 10        | 4     | С гидротолкателем |
| 13            | 8               | 0,4                   | 40   | 12        | 2     | С гидротолкателем |
| 14            | 7               | 0,15                  | 30   | 13        | 3     | Грузовой          |
| 15            | 6               | 0,3                   | 60   | 14        | 3     | С гидротолкателем |
| 16            | 5               | 0,4                   | 40   | 15        | 4     | Пружинный         |
| 17            | 4               | 0,3                   | 30   | 10        | 2     | С гидротолкателем |
| 18            | 2,5             | 0,2                   | 20   | 12        | 3     | С гидротолкателем |
| 19            | 2               | 0,4                   | 60   | 13        | 3     | Грузовой          |
| 20            | 4               | 0,3                   | 50   | 14        | 4     | С гидротолкателем |
| 21            | 5               | 0,2                   | 40   | 15        | 4     | Пружинный         |
| 22            | 6               | 0,3                   | 50   | 16        | 2     | С гидротолкателем |
| 23            | 7               | 0,4                   | 60   | 10        | 3     | С гидротолкателем |
| 24            | 8               | 0,3                   | 70   | 20        | 3     | Грузовой          |
| 25            | 9               | 0,15                  | 80   | 30        | 4     | С гидротолкателем |

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>Введение</b> .....  | 3  |
| <b>1. Землеройно-транспортные машины</b> .....               | 3  |
| 1.1. Бульдозеры и рыхлители .....                            | 3  |
| 1.2. Скреперы .....  | 13 |
| 1.3. Одноковшовые экскаваторы.....                           | 18 |
| <b>2. Подъемно-транспортные машины</b> .....                 | 38 |
| 2.1. Домкраты .....  | 38 |
| 2.2. Устойчивость грузоподъемных кранов.....                 | 48 |
| <b>3. Специализированные грузозахватные устройства</b> ..... | 59 |
| <b>4. Грузозахватные устройства и приспособления</b> .....   | 64 |
| <b>5. Лебедки</b> .....                                      | 74 |
| <b>6. Механизмы передвижения</b> .....                       | 82 |
| <b>Библиографический список</b> .....                        | 96 |
| <b>Приложения</b> .....                                      | 97 |