

УДК 531.01+639.2.61.065

**Н.П. Кадочникова**

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

## **ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРАЛОВОЙ ЛЕБЕДКИ**

*Теоретическая механика, используя упрощенные модели, позволяет решать инженерные задачи, как в случае расчета траловой лебедки.*

**Ключевые слова:** работа, сила, механическая система, кинетическая энергия.

**N.P. Kadochnikova**

## **DYNAMIC CALCULATION OF TRAWL WINCH**

*Theoretical mechanics using simpler models allows to solve engineering problems, such as, for example, calculation of trawl winch.*

**Key words:** work, power, mechanical system, kinetic energy.

Теоретическая механика как одна из важнейших дисциплин играет существенную роль в подготовке инженеров любых специальностей.

Круг проблем, рассматриваемых в механике, очень велик, и с развитием этой науки в ней появляется целый ряд самостоятельных областей: теории упругости, гидромеханики, газовой динамики, – и ряд разделов так называемой прикладной механики, в частности, сопротивление материалов, теория механизмов и машин и многие специальные инженерные дисциплины. Однако во всех областях наряду со специфическими для каждой из них закономерностями и методами исследования опираются на ряд основных законов и принципов и используют многие понятия и методы, общие для всех областей механики. Рассмотрение этих общих понятий, законов и методов и составляет предмет так называемой теоретической (или общей) механики.

В нижеизложенной задаче произведено исследование работы траловой лебедки при подъеме, опускании груза на судах типа СТР-503 с использованием основных положений, теорем, законов теоретической механики.

Груз 4, массой  $m$ , поднимается с помощью электрической лебедки, состоящей из зубчатых колес 1, 2, массами  $m_1, m_2$ , радиусами  $r_1, r_2$  и барабана 3 массой  $m_3$ , диаметра  $D$ . Колесо 1 приводится во вращение электродвигателем, создающим постоянный вращающий момент. Номинальная мощность электродвигателя  $P$ , момент инерции ротора относительно оси вращения  $J_y$ , угловая скорость  $n$ , об/мин (рис. 1).

Определить:

- перемещение  $S$  груза, считая, что движение началось из состояния покоя;
- угловое ускорение  $\epsilon$  электромотора;
- ускорение  $a$  груза;
- натяжение  $T$  в ветвях троса;
- окружное (касательное) усилие  $F_r$ .

Дано:  $m = 100$  кг,  $m_1 = 40$  кг,  $m_2 = 50$  кг,  $m_3 = 50$  кг,  $r_1 = 10$  см,  $r_2 = 20$  см,  $D = 10$  см,  $P = 20$  кВт,  $n = 1200$  об/мин,  $J_y = 0,8$  кг/м<sup>2</sup>.

Определить:  $S, \epsilon, a, T, F_r$ .

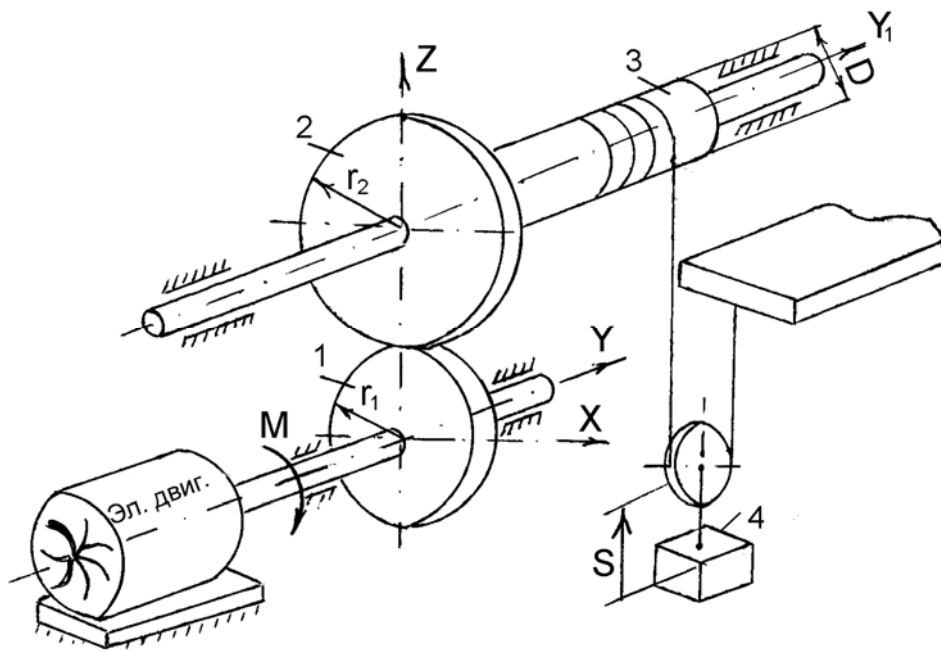


Рис. 1. Схема механизма  
Fig. 1. Scheme of mechanism

Определим перемещение груза  $S$

Применим теорему об изменении кинетической энергии системы [1]:

$$T - T_0 = \sum A_k^e + \sum A_k^i, \quad (1)$$

где  $T_0, T$  – кинетическая энергия системы в начальном и конечном положениях;  $\sum A_k^e$  – сумма работ внешних сил, приложенных к системе, на перемещении системы из начального положения в конечное;  $\sum A_k^i$  – сумма работ внутренних сил на том же перемещении.

Для рассматриваемой системы, состоящей из абсолютно твердых тел, соединенных нерастяжимыми тросами  $\sum A_k^i = 0$ .

Так как в начальном положении система находилась в покое, то  $T_0 = 0$ .

Уравнение (1) примет вид:

$$T = \sum A_k^e. \quad (2)$$

Вычислим кинетическую энергию системы в конечном положении, когда груз переместится на расстояние  $S$ , как сумму кинетических энергий тел, входящих в систему.

Система состоит из ротора, зубчатых колес 1, 2, барабана 3, вращающихся вокруг осей и груза, движущегося поступательно (см. рис. 1), [2]:

$$T = T_p + T_1 + T_2 + T_3 + T_{гр}.$$

Кинетическая энергия ротора электродвигателя, вращающегося вокруг оси  $y$ :

$$T_p = \frac{J_y \omega^2}{2},$$

где  $J_y$  – момент инерции ротора.

Кинетическая энергия колеса 1, вращающегося вокруг оси  $y$ :

$$T_1 = \frac{J_y \omega_1^2}{2},$$

где  $J_y = \frac{m_1 r_1^2}{2}$ ,  $\omega_1 = \omega$  – колесо 1 и электродвигатель на одном валу;  $\omega$  – угловая скорость электродвигателя:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1200}{60} = 125,6 \text{ с}^{-1}.$$

$$T_1 = \frac{m_1 r_1^2}{4} \omega^2. \quad (3)$$

Кинетическая энергия колеса 2, вращающегося вокруг оси  $y_1$ :

$$T_2 = \frac{J_{y1} \cdot \omega_2^2}{2}, \quad (4)$$

где

$$J_{y1} = \frac{m_2 r_2^2}{2}, \quad (5)$$

для точки E зацепления колес имеем (рис. 2):

$$\begin{aligned} V_E &= \omega_2 r_2 = \omega_1 \cdot r_1, \\ \omega_2 &= \frac{\omega_1 \cdot r_1}{r_2} = \frac{\omega \cdot r_1}{r_2}, \end{aligned} \quad (6)$$

учтя соотношения (5,6) и подставив в (4), получим:

$$T_2 = \frac{m_2 r_2^2}{2 \cdot 2} \cdot \frac{\omega^2 r_1^2}{r_2^2} = \frac{m_2 r_1^2}{4} \omega^2. \quad (7)$$

Кинетическая энергия барабана 3, вращающегося вокруг оси  $y_1$ :

$$T_3 = \frac{J_{y1} \omega_3^2}{2},$$

где

$$J_{y1} = \frac{m_3 r_3^2}{2} = \frac{m_3 \cdot D^2}{8},$$

$r_3 = \frac{D}{2}$ , где  $D$  – диаметр барабана,  $\omega_3 = \omega_2$  – угловая скорость барабана 3 совпадает с угловой скоростью колеса 2, так как они расположены на одном валу (рис. 2):

$$\omega_3 = \omega_2 = \frac{\omega \cdot r_1}{r_2},$$

учтя соотношения, получим:

$$T_3 = \frac{m_3 D^2 \omega^2 r_1^2}{2 \cdot 8 r_2^2} = \frac{m_3 D^2 r_1^2}{16 r_2^2} \omega^2. \tag{8}$$

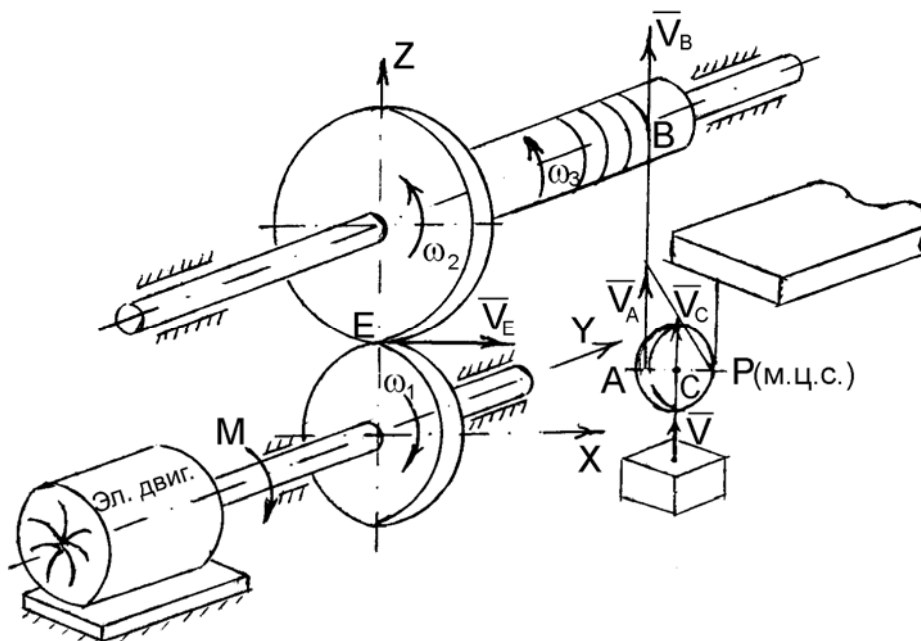


Рис. 2. Кинематическая схема  
Fig. 2. Kinematic scheme

Кинетическая энергия груза, движущегося поступательно:

$$T_{гр} = \frac{mV^2}{2}, \tag{9}$$

где  $V = V_C = \frac{V_A}{2} = \frac{V_B}{2} = \frac{\omega_3 r_3}{2} = \frac{\omega \cdot r_1 \cdot D}{2 \cdot 2 \cdot r_2}$ ,  $V = \frac{125 \cdot 0,1 \cdot 0,1}{4 \cdot 0,2} = 1,57$  м/с.

Точка  $P$  – мгновенный центр скоростей колеса 4, совершающего плоское движение (см. рис. 2).

Учтя соотношение, получим:

$$T_{гр} = \frac{m \cdot r_1^2 D^2}{2 \cdot 16r_2^2} \omega^2. \quad (10)$$

Кинетическая энергия системы: электродвигателя, зубчатых колес 1, 2, барабана 3, груза – имеет вид:

$$T = \frac{J_y \omega^2}{2} + \frac{m_1 r_1^2}{4} \omega^2 + \frac{m_2 r_1^2}{4} \omega^2 + \frac{m_3 D^2 r_1^2}{16 r_2^2} \omega^2 + \frac{m r_1^2 D^2}{32 r_2^2} \omega^2, \quad (11)$$

$$T = 0,64 \omega^2 = 10,1 \text{ кНм}.$$

Определим сумму работ внешних сил, действующих на систему (рис. 3).

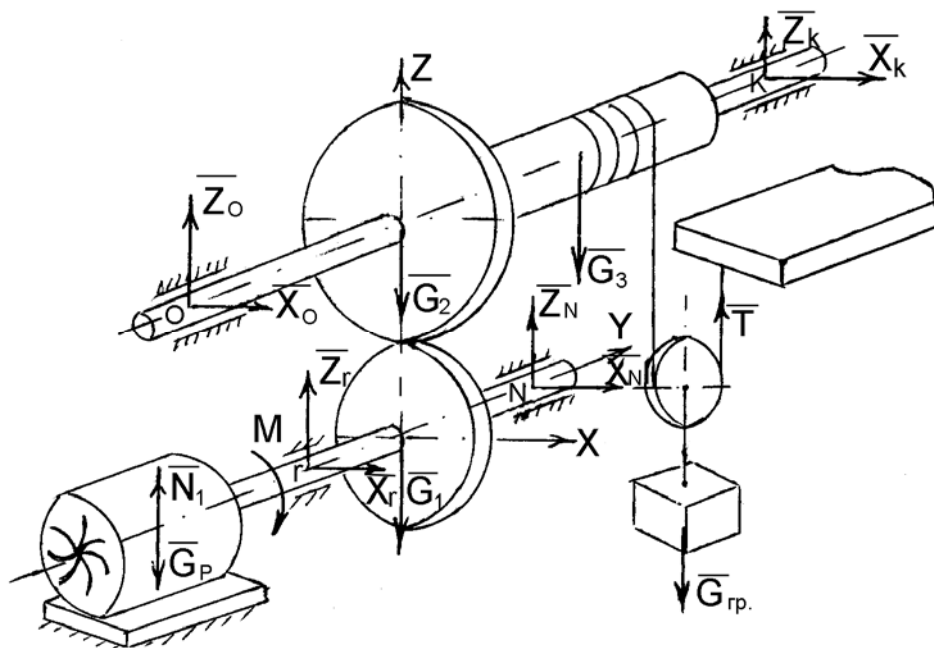


Рис. 3. Силы, действующие на систему

Fig. 3. Forces which operate on system

На систему действуют следующие силы:

- $\vec{G}_p, \vec{G}_1, \vec{G}_2, \vec{G}_3, \vec{G}_{гр}$  – силы тяжести: электродвигателя, колес 1, 2, барабана 3, груза, реакции опор:  $\vec{X}_0, \vec{Z}_0, \vec{X}_k, \vec{Z}_k, \vec{X}_N, \vec{Z}_N, \vec{X}_r, \vec{Z}_r$ ;
- $\vec{T}$  – реакция троса,  $\vec{N}_1$  – реакция поверхности,  $\vec{N}_1 \perp$  поверхности;
- $M$  – постоянный вращающий момент электродвигателя, который вычисляется по формуле

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{30P}{\pi n} = \frac{30 \cdot 20 \cdot 1000}{3,14 \cdot 1200} = 159,23 \text{ нм} = 0,159 \text{ кНм},$$

где  $P$  – мощность электродвигателя, кВт;  $\omega = \frac{2\pi}{60} = \frac{\pi n}{30} = 125,6 \text{ с}^{-1}$  – угловая скорость электродвигателя.

Работа силы  $\vec{G}_{\text{гп}}$ :

$$A(\vec{G}_{\text{гп}}) = -G_{\text{гп}} \cdot S = -mg \cdot S, \quad (12)$$

груз поднимается, работа отрицательна.

Работа сил  $(\vec{G}_p, \vec{G}_1, \vec{G}_2, \vec{G}_3, \vec{X}_0, \vec{Z}_0, \vec{X}_k, \vec{Z}_k, \vec{X}_N, \vec{Z}_N, \vec{X}_r, \vec{Z}_r, \vec{N}_1)$  равна нулю, так как точки приложения сил не перемещаются.

$A(\vec{T})=0$  – точка приложения силы  $\vec{T}$  совпадает с мгновенным центром скоростей.

Работа вращающего момента  $M$  электродвигателя:

$$A(M) = M \cdot \varphi, \quad (13)$$

где  $\varphi$  – угол поворота ротора электродвигателя.

Определим  $\varphi$  из выражения угловой скорости путем ее интегрирования:

$$V = \frac{\omega r_1 \cdot D}{4r_2}, \quad \omega = \frac{4r_2 V}{r_1 D}, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{4r_2}{r_1 D} \frac{ds}{dt}, \quad \varphi = \frac{4r_2 \cdot S}{r_1 D}. \quad (14)$$

Учтя соотношение (14) и подставив в (13), получим:

$$A(M) = M \cdot \frac{4r_2 S}{r_1 D}. \quad (15)$$

Сумма работ внешних сил определяется сложением работ, определяемым по формулам (12), (15):

$$\begin{aligned} \sum A_k^e &= M \frac{4r_2 S}{r_1 D} - mgS = S \left( \frac{M4r_2}{r_1 D} - mg \right). \\ \sum A_k^e &= 11,74S. \end{aligned}$$

Приравнявая значения  $T$  и  $\sum A_k^e$ , определим перемещение груза  $S$ :

$$0,64\omega^2 = 11,74S. \quad 10,1 = 11,74S. \quad S = 0,9 \text{ м.}$$

Воспользовавшись теоремой об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной форме, определим угловое ускорение электродвигателя.

Ускорение груза определим из скорости груза путем дифференцирования.

Напряжение в тросе определим, разрезав трос и рассмотрев равновесие блока с грузом, воспользовавшись основным уравнением динамики.

Воспользовавшись теоремой об изменении кинетического момента системы, определим окружное (касательное) усилие в зубчатом зацеплении, рассмотрев колесо 1 с электродвигателем.

### Список литературы

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Наука, 2003. – 416 с.
2. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике / под ред. А.А. Яблонского, изд. 15-е, стер. – М.: Интеграл-Пресс, 2006. – 384 с.
3. Габрюк В.И., Кокорин Н.В., Осипов Е.В., Чернецов В.В. Механика орудий лова. – Владивосток: ТИПРО-Центр, 2006. – 304 с.

**Сведения об авторе:** Кадочникова Нина Павловна, доцент.