

УДК 531.3

**Н.П. Кадочникова**

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

## ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Теоретическая механика, используя упрощенные модели, позволяет решать инженерные задачи, как в случае расчета механизма подъема трала на судне.*

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

**N.P. Kadochnikova**

## DYNAMIC CALCULATION OF MECHANICAL SYSTEM

*Theoretical mechanics using simpler models allows to solve engineering problems, such as, for example, calculation of mechanism for lifting the trawl on the ship.*

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

С помощью зубчатых колес и троса, намотанного на барабан, по слипу поднимается трал из состояния покоя (рис. 1).

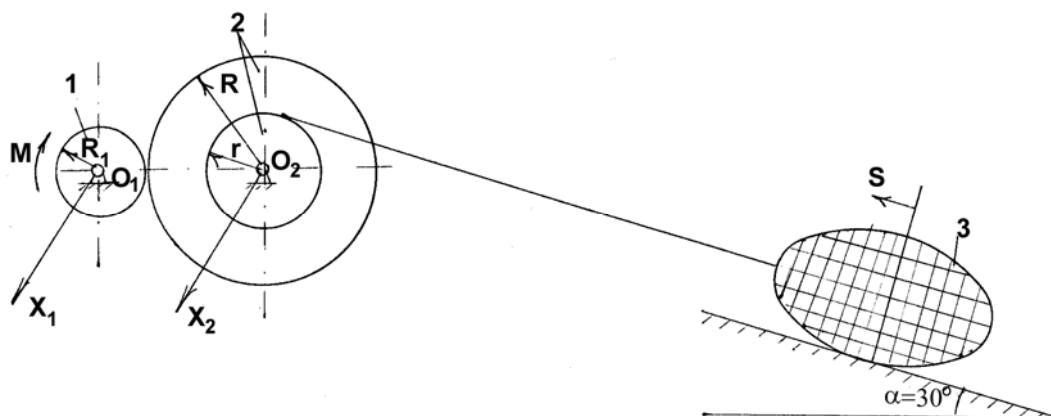


Рис. 1. Схема подъема трала  
Fig. 1. Scheme of lifting the trawl

К колесу 1 приложен вращающий момент  $M$ . Учитывая трение скольжения трала 3 и постоянный момент  $M_c$  сопротивления вращению тела 2, пренебрегая другими силами сопротивления и массой троса, предполагаемого нерастяжимым, определить угловую скорость вращения колеса 1, когда пройденный тралом путь станет равным  $S$ .

Приняты следующие обозначения:

$\bar{G}_1, \bar{G}_2, \bar{G}_3$  – силы тяжести тел 1, 2, 3;

$R_1, R, r$  – радиусы больших и малых окружностей;

$i_{2x}$  – радиус инерции колеса 2 относительно оси  $X_1$ , перпендикулярной плоскости колеса 2, проходящей через центр колеса;

$\alpha = 30^\circ$  – угол наклона слипа к горизонту;

$f$  – коэффициент трения скольжения трала.

Дано:

$$M = 0,6G, \quad M_c = 0,2G, \quad G_1 = G, \quad G_2 = 2G, \quad G_3 = 6G,$$

$$R = 2r, \quad r = 0,6\text{ м}, \quad R_1 = 0,1\text{ м}, \quad L_{2x} = r\sqrt{2},$$

$$f = 0,1, \quad S = 1\text{ м}.$$

Определить:  $\omega_1$ .

Рассмотрим движение механической системы, состоящей из тел 1, 2, 3. Тела 1, 2 совершают вращательные движения вокруг неподвижных осей  $O_1X_1$   $O_2X_2$ . Тело 3 – трал движется поступательно.

Воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии системы [1]:

$$\begin{aligned} T - T_0 &= \sum A_k^e, \\ T_0 &= 0 \quad (V_0 = 0 \text{ движение из состояния покоя}) \\ T &= \sum A_k^e, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $T$  – кинетическая энергия системы, выразим её через угловую скорость колеса 1 ( $\omega_1$ ), используя кинематические соотношения рис. 2 [2].

$$\begin{aligned} V_A &= \omega_1 R_1; \quad \omega_2 = \frac{V_A}{R} = \frac{\omega_1 R_1}{R} = \frac{\omega_1 R_1}{2r}; \\ V_B &= \omega_2 \cdot r = \frac{\omega_1 R_1}{2}; \quad V_3 = V_B = \frac{\omega_1 R_1}{2}. \end{aligned} \quad (2)$$

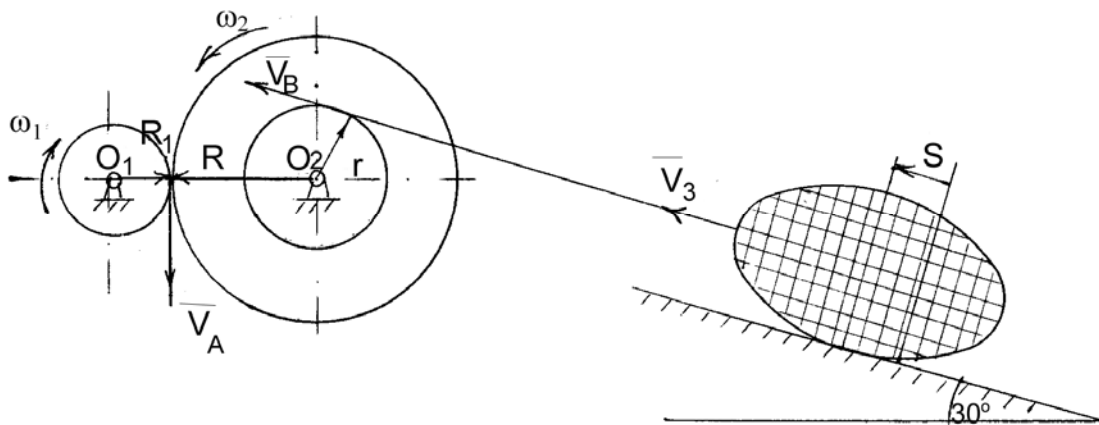


Рис. 2. Кинематическая схема  
Fig. 2. Kinematic scheme

Используя соотношения между скоростями, запишем соотношения между перемещениями  $\varphi_1, \varphi_2, S$ :

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}; \quad \varphi_2 = \frac{\varphi_1 R_1}{R}; \quad V = \frac{ds}{dt}; \quad S = \frac{\varphi_1 R_1}{2}. \quad (3)$$

Определим кинетическую энергию системы как сумму кинетических энергий тел, входящих в систему

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad ,$$

$$T_1 = \frac{J_{1x} \cdot \omega_1^2}{2} = \frac{m_1 R_1^2 \cdot \omega_1^2}{4} = \frac{G_1 R_1^2 \omega_1^2}{4g} \quad ,$$

$J_{1x} = \frac{m_1 R_1^2}{2}$ ,  $J_{2x} = m_2 L_{2x}^2$  – моменты инерции колес 1, 2 относительно осей  $O_1 X_1$ ,  $O_2 X_2$ ,  
 $G = mg$ .

$$T_2 = \frac{J_{2x} \cdot \omega_2^2}{2} = \frac{m_2 L_{2x}^2 \cdot \omega_2^2}{2} = \frac{G_2 (r\sqrt{2})^2 \omega_1^2 R_1^2}{4r^2} = \frac{G \omega_1^2 R_1^2}{2g} \quad ,$$

$$T_3 = \frac{m_3 V_3^2}{2} = \frac{G_3 \omega_1^2 R_1^2}{g \cdot 2 \cdot 4} = \frac{6G \omega_1^2 R_1^2}{g \cdot 2 \cdot 4} = \frac{3G \omega_1^2 R_1^2}{4g} \quad , \quad (4)$$

$$T = \frac{G R_1^2 \omega_1^2}{4g} + \frac{6 \omega_1^2 R_1^2}{2g} + \frac{3G \omega_1^2 R_1^2}{4g} = \frac{6G \omega_1^2 R_1^2}{4g} \quad .$$

Определим работу внешних сил  $\Sigma A_k^e$  [2].

Покажем положение тел системы, когда трал пройдет путь  $S$ , и внешние силы, действующие на систему (рис. 3).

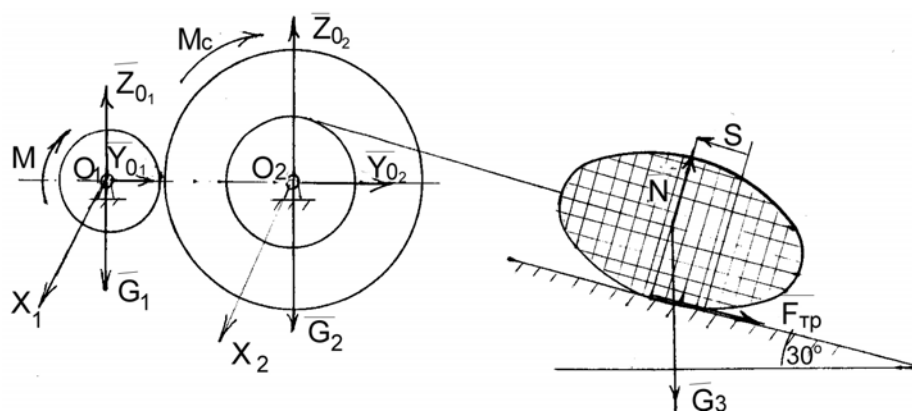


Рис. 3. Положение тел в конечный момент  
 Fig. 3. Position of the bodies at the last moment

$\bar{G}_1, \bar{G}_2, \bar{G}_3$  – силы тяжести тел 1, 2, 3;

$(\bar{Y}_{O_1}, \bar{Z}_{O_1}), (\bar{Y}_{O_2}, \bar{Z}_{O_2})$  – реакции шарнирно-неподвижных опор  $O_1, O_2$ ;

$(\bar{N}, \bar{F}_{mp})$  – реакция шероховатой поверхности, по которой движется трал;

$M$  – вращающий момент,  $M_c$  – момент сопротивления вращению тела 2.

Найдем сумму работ внешних сил, когда тело 1 повернется на угол  $\varphi_1$ , тело 2 – на угол  $\varphi_2$ , тело 3 пройдет путь  $S$ .

$$\Sigma A_k^e = M \varphi_1 - M_c \varphi_2 - G_3 S \cdot \sin 30^\circ - F_{mp} S \quad ,$$

$$A(\bar{N}) = 0 \quad \bar{N} \perp \text{перемещения} \quad .$$

Работа сил  $\bar{G}_1, \bar{G}_2, \bar{Y}o_1, \bar{Z}o_1, \bar{Y}o_2, \bar{Z}o_2$  равна нулю, так как точки приложения сил не перемещаются,  $\varphi_1, \varphi_2$  выразим через  $S$ , используя формулы (3):

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{2S}{R_1}, \quad \varphi_2 = \frac{S}{r}, \\ F_{mp} &= f \cdot N = f \cdot G_3 \cos 30^\circ = 0,1 \cdot 6G \cdot 0,86 = 0,52G, \\ \Sigma A_k^e &= M \cdot \frac{2S}{R_1} - M_c \frac{S}{r} - G_3 S \sin 30^\circ - 0,52G \cdot S, \\ \Sigma A_k^e &= 8,15GS, \end{aligned} \tag{5}$$

подставим в формулу (1) формулы (4), (5):

$$\frac{6G\omega_1^2 R^2}{4g} = 8,15GS \quad \omega_1 = 74 \text{ с}^{-1}.$$

Используя модель подъёма трала, можно определить угловую скорость ведущего колеса, при которой трал будет подниматься и рыба при таком подъёме не утратит свой товарный вид.

### Список литературы

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики [Текст] / С.М. Тарг. – М.: Наука, 2003. – 416 с.
2. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике [Текст] / под ред. А.А. Яблонского. 15-е изд., стереотип. – М.: Интеграл-Пресс, 2006. – 384 с.

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