

## МЕХАНИЗАЦИЯ ДОБЫЧИ РЫБЫ

УДК 639.2.081.117

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ  
ТРАЛ—СУДНО ПРИ ПОДЪЕМЕ ТРАЛА

Ш. А. Расулев

В связи с освоением тралового лова рыбы на больших глубинах острее встал вопрос о разработке методики, позволяющей обосновывать параметры траловых лебедок и траулеров при лове рыбы на заданной глубине и с тралами заданных характеристик. В данной статье изложен приближенный метод определения натяжения ваеров в верхней точке и располагаемой тяги судна, возникающих при подъеме трала, с конечной целью обоснования тягового усилия ваерной лебедки и характеристики траулера.

При разработке методики примем как известные

$H$  — глубина хода трала;

$v_c$  — скорость судна,

$v_l$  — скорость выборки ваеров лебедкой;

$R=f(v_T)$  — зависимость половины сопротивления  $R$  трала от скорости  $v_T$  движения его относительно воды;

$Q$  — вертикальная составляющая половины углубляющих сил, действующих на трал;

и неизвестные

$T_B$  — натяжение ваеров в верхней точке  $B$  (рис. 1);

$P$  — половина располагаемой тяги судна.

Примем следующие допущения: трал заменяем материальной точкой  $A$ , судно — материальной точкой  $B$ , процесс предполагаем установившимся. Пространственную задачу движения ваеров и трала в первом приближении заменяем плоской, пренебрегая всеми силами, нормальными вертикальной плоскости симметрии системы судно — трал, а ваера уподобляем идеальной нерастяжимой гибкой нити.

На элемент  $l_1 l_2$  (рис. 2) нити длины  $dl$  в произвольной точке  $N$  действуют поверхностные и массовые силы:

$c_T dl$  — гидродинамическое трение, действующее по касательной в точке  $N$ ;

$k_n dl$  — гидродинамическое давление, направленное по нормали в точке  $N$ ;

$q dl$  — вес элемента нити в воде.

Поток, набегающий\* на элемент нити, можно разбить на два: один поток, текущий вдоль нити со скоростью

$$v_T = v \cos(\alpha - \beta), \quad (1)$$

где  $\beta$  — угол между вектором скорости  $\bar{v}$  движения элемента нити относительно воды и вектором  $v_c$ ;

$\alpha$  — угол наклона нити к горизонтали в произвольной точке  $N$ ;

\* Далее в тексте вместо абсолютного движения системы ваера — трал будет иногда для удобства рассматриваться относительный поток, набегающий на систему.

и другой поток, набегающий по нормали к нити со скоростью

$$v_n = v \sin(\alpha - \beta). \quad (2)$$

Полагая, что силы трения и нормального давления пропорциональны квадратам соответствующих проекций скоростей, получим

$$c_T = c \left( \frac{v}{v_c} \right)^2 \cos^2(\alpha - \beta), \quad (3)$$

$$k_n = k \left( \frac{v}{v_c} \right)^2 \sin^2(\alpha - \beta), \quad (4)$$

где

$$c = c_0 \frac{\rho v_c^2}{2} d, \quad (5)$$

$$k = k_0 \frac{\rho v_c^2}{2} d, \quad (6)$$

$c_0$  и  $k_0$  — постоянные, определяемые из опыта;  
 $d$  — диаметр нити (ваеров);  
 $\rho$  — массовая плотность воды.

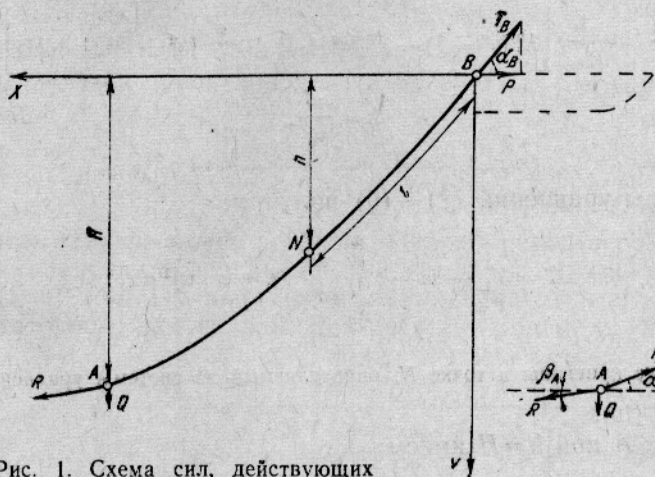


Рис. 1. Схема сил, действующих на систему трал — судно.

В соответствии с вышесказанным уравнения равновесия элемента  $l_1 l_2$  после проектирования на касательную и нормаль действующих в произвольной точке  $N$  сил будут иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dl} + q \sin \alpha + c \left( \frac{v}{v_c} \right)^2 \cos^2(\alpha - \beta) = 0 \\ T \frac{d\alpha}{dl} + q \cos \alpha - k \left( \frac{v}{v_c} \right)^2 \sin^2(\alpha - \beta) = 0, \end{cases} \quad (7)$$

где  $T$  — натяжение нити в произвольной точке  $N$ .

В процессе выборки имеют место (по теореме синусов) соотношения

$$\begin{cases} v \sin(\alpha - \beta) = v_c \sin \alpha \\ v \sin \beta = v_l \sin \alpha. \end{cases} \quad (8)$$

Кроме того, имеет место очевидное соотношение

$$dh = \sin \alpha dl, \quad (9)$$

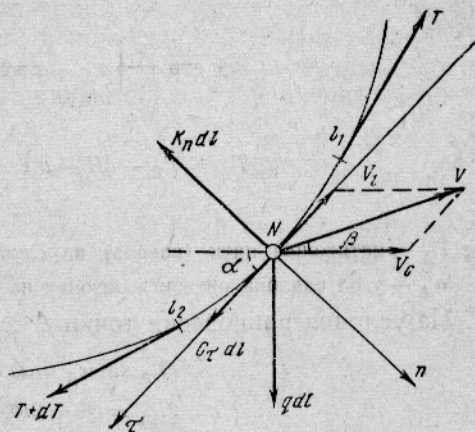


Рис. 2. Схема сил, действующих на элемент нити длины  $dl$  в произвольной точке  $N$ .

где  $dh$  — вертикальная проекция длины элемента нити.

Решая системы уравнений (7) и (8) относительно  $T$  и  $\alpha$ , получим взаимосвязь между натяжением и углом нити в произвольной точке  $N$ :

$$T = C_1 \left( \frac{\cos \alpha + a + n}{\cos \alpha + a - n} \right)^{\frac{a}{n}} \left( \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + b}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - b} \right)^m \exp \frac{c}{k} \left[ \alpha - r \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{u} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \right], \quad (10)$$

$(v_c \neq 0)$

где  $C_1$  — постоянная, определяемая натяжением  $T_B$  и углом  $\alpha_B$  нити в верхней точке  $B$ ;

$a, n, b, u, m, r, \lambda$  — постоянные, определяемые из соотношений

$$a = \frac{q}{2k}, \quad n^2 = 1 + a^2, \quad b^2 = \frac{1}{a} (n - 1), \quad u^2 = \frac{1}{a} (n + 1), \quad (11)$$

$$m = \frac{c}{4knb} \left[ \lambda^2 (1 + b^2) + 2\lambda (1 - b^2) + \frac{a}{2} (1 - b^2)^2 (u^2 - 1) \right], \quad (12)$$

$$r = \frac{1}{2nu} \left[ \lambda^2 (u^2 - 1) - 2\lambda (u^2 + 1) + \frac{a}{2} (u^2 + 1)^2 (1 + b^2) \right]$$

$$\lambda = \frac{v_l}{v_c}.$$

Из системы уравнений (7) — (9) получим:

$$T = T_B - qh - c \int_{\alpha_B}^{\alpha} \frac{dl}{d\alpha} (\lambda + \cos \alpha)^2 d\alpha, \quad (13)$$

где  $\frac{dl}{d\alpha}$  — радиус кривизны в точке  $N$ , определяемый из системы уравнений (7) и равенства (10).

Для точки  $A$  при  $h = H$  имеем:

$$T_A = C_1 \left( \frac{\cos \alpha_A + a + n}{\cos \alpha_A + a - n} \right)^{\frac{a}{n}} \left( \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha_A}{2} + b}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_A}{2} - b} \right)^m \times$$

$$\times \exp \frac{c}{k} \left[ \alpha_A - r \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{u} \operatorname{tg} \frac{\alpha_A}{2} \right) \right]; \quad (14a)$$

$$T_A = T_B - qH - c \int_{\alpha_B}^{\alpha_A} \frac{dl}{d\alpha} (\lambda + \cos \alpha)^2 d\alpha, \quad (14b)$$

где  $T_A$  — натяжение нити (ваеров) на глубине  $H$  (у доски):

$\alpha_A$  — угол наклона нити к горизонту на глубине  $H$ .

Из условия равновесия точки  $A$  следуют соотношения

$$\begin{cases} T_A \sin \alpha_A = Q + R \sin \beta_A \\ T_A^2 = Q^2 + 2RQ \sin \beta_A + R^2. \end{cases} \quad (15)$$

где  $\beta_A$  — угол между вектором скорости  $\vec{v}_r$  движения троса относительно воды и вектором скорости  $\vec{v}_c$  движения судна.

Теорема синусов в приложении к параллелограмму скоростей точки  $A$  дает систему

$$\begin{cases} \sin \alpha_A = \frac{v_T}{v_c} \sin (\alpha_A - \beta_A) \\ \sin \beta_A = \frac{v_l}{v_T} \sin \alpha_A \end{cases} \quad (16)$$

Из системы уравнений (15) и (16) можно получить соотношения

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \alpha_A = \frac{Q}{R} \frac{v_T}{v_c} \\ v_T^2 = v_c^2 (1 + 2\lambda \cos \alpha_A + \lambda^2) \end{cases} \quad (17)$$

Считая, что в общем виде зависимость  $R=f(v_T)$  имеет вид

$$R = r_1 v_T^2 + r_2 v_T, \quad (18)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  — некоторые эмпирические коэффициенты.

получим из системы уравнений (17) и равенства (18) уравнение относительно  $\alpha_A$

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{Q}{r_1 v_c^2 (1 + 2\lambda \cos \alpha_A + \lambda^2)^{1/2} + r_2 v_c}. \quad (19)$$

Уравнение (19) не имеет решения в явном виде (в результате преобразований получается уравнение 6-й степени). Применяя метод интегриации ( $\lambda=0$  при 1-м шаге интегриации; 2 шага интегриации), получим с достаточной, как показывают расчеты, степенью точности значение  $\operatorname{tg} \alpha_A$

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{Q}{r_1 v_c^2 \left[ 1 + \frac{2\lambda (r_1 v_c^2 + r_2 v_c)}{\sqrt{(r_1 v_c^2 + r_2 v_c)^2 + Q^2}} + \lambda^2 \right]^{1/2} + r_2 v_c}. \quad (20)$$

Используя затем соотношения (17), (18) и некоторые преобразования, получим значения  $v_T$  и  $R$ ; из уравнения (16) значение  $\sin \beta_A$  и из уравнений (15) значение  $T_A$ .

Пользуясь тем, что член, учитывающий гидродинамическое трение [уравнение (14б)], относительно мал, и полагая, что угол  $\alpha$  равномерно изменяется по длине  $L$  нити в диапазоне от 0 до  $\pi/2$ , получим с достаточной, как показывают расчеты, степенью точности значение  $T_B$

$$T_B = T_A + qH + c \frac{\pi}{2} H \left[ \left( \lambda + \frac{2}{\pi} \right)^2 + \left( \frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \right) \right]. \quad (21)$$

Решая уравнение (14а) относительно  $\cos \alpha_B$  и считая, что на ее величину гидродинамическое трение нити (ваеров) оказывает малое влияние, получим выражение ( $c_0=0$ ), определяющее  $\cos \alpha_B$

$$\cos \alpha_B = 1 - a + \frac{2n \left( \frac{T_A}{T_B} \right)^{\frac{n}{a}} \left( \frac{\cos \alpha_A + a - n}{\cos \alpha_A + a + n} \right)}{1 - \left( \frac{T_A}{T_B} \right)^{\frac{n}{a}} \left( \frac{\cos \alpha_A + a - n}{\cos \alpha_A + a + n} \right)}. \quad (22)$$

Условие равновесия точки  $B$  позволяет вычислить значение половины располагаемой тяги судна  $P$ :

$$P = T_B \cos \alpha_B. \quad (23)$$

### *Вывод*

Получена математическая модель, раскрывающая некоторые стороны взаимосвязи судна, трала и лебедки и позволяющая, как в одном из вариантов применения, при постройке новых и эксплуатации существующих судов обосновывать тяговые усилия ваерных лебедок и располагаемые тяги судов при известной характеристике трала.

### *Determination of mechanical parameters of the trawl—vessel system at hauling*

*Sh. A. Rasulev*

### SUMMARY

The method of approximate determination of the mechanical parameters of the trawl—vessel system is described. The initial data are as follows: the relations of resistance  $R$  and velocity  $V_t$ , of speed of the trawl and velocity of water, depth and speed of towing, speed of wires hauled with winches. A mathematical model is constructed revealing some aspects of the relationship among the vessel, trawl and winch. The model may be used for choosing appropriate hauling stress of wire winches at the designing of new vessels and exploitation of the operating vessels.