

**РАСЧЕТ СИЛЫ ТЯГИ ТРАУЛЕРА В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ СКОРОСТИ БУКСИРОВКИ, СОПРОТИВЛЕНИЯ
ТРАЛА И УЛОВА**

Ю. А. ЗНАМЕНСКИЙ

Рассмотрим процесс работы траулера от начала спуска трала до его подъема в виде отдельных этапов.

Для упрощения путь судна от момента выхода на косяк до окончания буксировки трала разобьем условно на три участка.

x_1 —путь, пройденный траулером от момента выхода на косяк до окончания спуска трала;

x_2 —путь, пройденный траулером от момента полного раскрытия трала (взятия ваеров на стопор) до момента наполнения его рыбой;

x_3 —путь, пройденный судном с тралом, наполненным рыбой.

Введем следующие обозначения:

T —буксирная способность траулера;

R —общее сопротивление судна;

R_T —сопротивление трала.

На первом участке условная площадь сопротивления трала равна нулю, следовательно, и сопротивление его также равно нулю.

Составим уравнение движения судна

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = T - R, \quad (1)$$

или

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{T - R}{M}.$$

На втором участке к величине общего сопротивления траулера добавляется сопротивление трала.

Наполнение трала принимается порционным.

Сопротивление, развиваемое тралом, представим в виде

$$R_T = \frac{k_T F_T \rho}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2, \quad (2)$$

где k_T —коэффициент силы сопротивления трала, отнесенный к полной его поверхности;

F_T —площадь поверхности трала;

ρ —объемный вес морской воды.

С учетом сопротивления трала общее уравнение движения примет вид

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{T - R}{M} - \frac{\rho}{2M} k_T F_T \left(\frac{dx}{dt} \right)^2.$$

На третьем участке к величине общего сопротивления траулера и трала добавится сопротивление улова $R_{ул}$, которое можно выразить в виде следующего уравнения

$$R_{ул} = \frac{k_{ул} F_{ул} \rho}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2, \quad (3)$$

где $k_{ул}$ — коэффициент сопротивления улова;

$F_{ул}$ — площадь поперечного сечения кутка трала с уловом.

Тогда

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{T - R}{M} + \frac{\rho}{2M} (-k_T F_T - k_{ул} F_{ул}) \left(\frac{dx}{dt} \right)^2. \quad (4)$$

Решим уравнение (4) относительно T , т. е. определим буксирное усилие, которое должно иметь судно для преодоления общего сопротивления, сохранив при этом заданную скорость траления.

Обозначим

$$P = \frac{T - R}{M};$$

$$Q = \frac{\rho}{2M} (-k_T F_T - k_{ул} F_{ул}),$$

тогда уравнение (4) примет вид

$$\frac{d^2x}{dt^2} = Q \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + P. \quad (5)$$

Движение судна с тралом рассматривается в диапазоне автомобильной области, поэтому и величина коэффициентов, входящих в формулы сопротивления, будет постоянна.

После спуска трала и наполнения его рыбой траулер при тех же условиях будет двигаться с отрицательным ускорением. Из практики известно, что для сохранения прежней скорости буксировки приходится увеличивать обороты двигателя. Это значит, что правая часть уравнения должна быть меньше нуля

$$Q \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + P < 0.$$

Тогда уравнение (5) можно представить в виде

$$\frac{d^2x}{dt^2} + Q \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - P = 0.$$

Обозначим

$$\frac{dx}{dt} = z; \quad \frac{d^2x}{dt^2} = z \frac{dz}{dx}.$$

Тогда

$$z \frac{dz}{dx} + Q \cdot z^2 - P = 0; \quad z^2 = y;$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dz}{dx}; \quad \frac{dy}{dx} + 2Qy - 2P = 0;$$

$$z \frac{dz}{dx} = \frac{1}{2} \frac{dy}{dx}; \quad dx = \frac{dy}{-2Qy + 2P} = -\frac{dy}{2Qy - 2P};$$

$$x + c = -\int \frac{dy}{2Qy - 2P} = \frac{1}{2Q} \ln(2Qy - 2P).$$

перейдем к старым переменным

$$x + c = -\frac{1}{2Q} \left[\ln \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - 2P \right].$$

Определим c по начальным данным в момент $t=0$, т. е. в начальный момент движения судна с тралом. При этом путь, пройденный судном с тралом, равен нулю, т. е. $x=0$.

$$\frac{dx}{dt} = v_0 \text{ — начальная скорость судна с тралом,}$$

тогда

$$c = -\frac{1}{2Q} \ln(2Qv_0^2 - 2P).$$

Подставив значение c , получим

$$x = -\frac{1}{2Q} \ln \left[2Q \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - 2P \right] + \frac{1}{2Q} \ln(2Qv_0^2 - 2P)$$

или

$$x = \frac{1}{2Q} \ln \left(\frac{Qv_0^2 - P}{Q \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - P} \right).$$

Решим полученное уравнение относительно v_T

$$e^{2Qx} = \frac{Qv_0^2 - P}{Q \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - P};$$

$$e^{2Qx} Q \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - P e^{2Qx} = Qv_0^2 - P;$$

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 = \frac{Qv_0^2 + P(e^{2Qx} - 1)}{Q \cdot e^{2Qx}};$$

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 = \frac{v_0^2 + \frac{P}{Q}(e^{2Qx} - 1)}{e^{2Qx}};$$

$$v_T = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{e^{Qx}} \sqrt{v_0^2 + \frac{P}{Q}(e^{2Qx} - 1)}. \quad (6)$$

ВЫВОД

Подставляя в уравнение (6) значение $P = \frac{T-R}{M}$ и решая относительно T получим

$$T = \frac{MQ(e^{2Qx} v_T^2 - v_0^2)}{e^{2Qx} - 1} + R. \quad (7)$$

Значение T характеризует величину буксирного усилия, которое необходимо для преодоления общего сопротивления судна и трала с рыбой и сохранения первоначальной скорости буксировки.

Из всего сказанного выше следует, что мощность траулера (величина буксирного усилия) должна выбираться не только из условия сопротивления судна и орудия лова, но так же и с учетом его максимальной уловистости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. Изд-во иностр. лит-ры, 1955.
2. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление. Гос. изд-во тех.-теорет. лит-ры, М., 1957.