

Исходные данные

Мощность мотора = 30 л.с.

Максимальное число оборотов двигателя = 6200 об/мин

Передаточное соотношение в редукторе = 2.08:1

Диаметр винта – $D = 11$ дюймам = 0.2794 м

Шаг винта – $H = 14$ дюймам = 0.3556 м

Число лопастей – $Z = 3$ лопасти

Шаговое отношение – $H/D = 1.27$

Дисковое отношение – $A_e/A_o = 0.500$

На испытаниях была достигнута скорость в $V = 57$ км/час

$V = 57$ км/час = 15.833 м/сек

Цель дальнейших вычислений

Расчётным путём выяснить насколько сильно изменится результат математических вычислений при применение тех или иных значений коэффициента попутного потока - W и коэффициента засасывания – t .

Расчет кинематических характеристик гребного винта

Расчет числа оборотов гребного винта:

$$n_B = \frac{n}{60} \times j$$

$$j = 1/2.08 = 0.48$$

$$n_B = \frac{6200}{60} \times 0.48 = 49.6 \text{ об/сек}$$

Определение относительной поступи:

$$J = \frac{V_A}{n \times D}$$

V_A – расчётная скорость перемещения винта относительно воды в м/сек

n - обороты винта в об/сек

D – диаметр винта в метрах

$$V_A = V \times (1 - w)$$

V_A – расчётная скорость перемещения винта относительно воды в м/сек

V – скорость лодки в м/сек

w_1 – коэффициент попутного потока = 0.04

w_2 - коэффициент попутного потока = 0.00

$$V_{A1} = 15.833 \times (1 - 0.04) = 15.199$$

$$V_{A2} = 15.833 \times (1 - 0.00) = 15.833$$

$$J_1 = \frac{15.199}{49.6 \times 0.2794} = 1.0967$$

$$J_2 = \frac{15.833}{49.6 \times 0.2794} = 1.1424$$

Определение линейной поступи:

$$h_p = \frac{V_A}{n}$$

$$h_{p1} = \frac{15.199}{49.6} = 0.3064$$

$$h_{p2} = \frac{15.833}{49.6} = 0.3192$$

Определение абсолютного скольжения винта:

$$S_p = H - h_p$$

$$S_{p1} = 0.3556 - 0.3064 = 0.0492$$

$$S_{p2} = 0.3556 - 0.3192 = 0.0364$$

Определение относительного скольжения винта:

$$S = 1 - \frac{h_p}{H}$$

$$S_1 = 1 - \frac{0.3064}{0.3556} = 0.1383$$

$$S_2 = 1 - \frac{0.3192}{0.3556} = 0.1023$$

На данном этапе расчетов видно что применение коэффициента попутного потока заметно влияет на значения относительного скольжения – разность значений составляет 3.6% .

При этом зафиксированная в ходе испытаний скорость $V = 57$ км/час вполне реалистична.

Расчёт гидродинамических характеристик гребного винта

По графику (номограмме) находим значение КПД винта – и как видим он равен $\eta_0 = 0.74$ причём как для первого варианта когда $J_1 = 1.0967$, так и для второго варианта в котором $J_2 = 1.1424$.

Через значение КПД гребного винта находим коэффициент тяги (упора):

$$K_T = \frac{\eta_0 \times K_Q \times 2\pi}{J}$$

η_0 - КПД гребного винта

K_Q - коэффициент момента

J - относительная поступь

Коэффициент момента рассчитывается по следующей формуле:

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \times n^2 \times D^5}$$

Q – момент в кгс x м

ρ – плотность воды = $102 \text{ кгс} \times \text{с}^2 / \text{м}^4$

n – число оборотов гребного винта = 52,2 об/сек

D – диаметр гребного винта = 0,2794 м

Момент определяется через следующее вычисление:

$$Q = \frac{N \times 716,2}{n}$$

N — мощность двигателя в л.с.

n - число оборотов гребного винта = 6200 / 2.08 = 2980.769 об/мин

$$Q = \frac{30 \times 716,2}{2980.769} = 7.2082$$

$$K_Q = \frac{7.2082}{102 \times 49.6^2 \times 0.2794^5} = 0.01689$$

Теперь определяем значение коэффициента тяги (упора):

$$K_T = \frac{n_o \times K_Q \times 2\pi}{J}$$

$$K_{T1} = \frac{0.74 \times 0.01689 \times 2 \times 3,14}{1.0967} = 0.07157$$

$$K_{T2} = \frac{0.74 \times 0.01689 \times 2 \times 3,14}{1.1424} = 0.0687$$

Для определения значений тяги винта воспользуемся следующей формулой:

$$T = K_T \times \rho \times n^2 \times D^4$$

K_T - коэффициент тяги (упора)

ρ – плотность воды = $102 \text{ кгс} \times \text{с}^2/\text{м}^4$

n – число оборотов гребного винта = 49.6 об/сек

D – диаметр гребного винта = 0.2794 м

$$T_1 = 0.07157 \times 102 \times 49.6^2 \times 0.2794^4 = 109.553 \text{ кгс}$$

$$T_2 = 0.0687 \times 102 \times 49.6^2 \times 0.2794^4 = 105.159 \text{ кгс}$$

Альтернативный вариант расчета значений тяги (упора) гребного винта:

$$T = \frac{75 \times N \times n_o \times n_H}{V_A}$$

N – мощность двигателя в л.с.

n_o - КПД гребного винта = 0.74

V_A – скорость винта в м/сек

n_H – коэффициент влияния корпуса

Коэффициент влияния корпуса рассчитывается следующим образом :

$$n_H = \frac{(1 - t)}{(1 - w)}$$

t – коэффициент засасывания

w – коэффициент попутного потока

$$n_{H1} = \frac{(1 - 0.04)}{(1 - 0.04)} = 1$$

$$n_{H2} = \frac{(1 - 0.00)}{(1 - 0.00)} = 1$$

$$T_1 = \frac{75 \times 30 \times 0.74 \times 1}{15.199} = 109.546 \text{ кгс}$$

$$T_2 = \frac{75 \times 30 \times 0.74 \times 1}{15.833} = 105.160 \text{ кгс}$$

Определение мощности поставленной на гребной вал :

$$DHP = \frac{2\pi \times n \times Q}{75}$$

$$DHP = \frac{2 \times 3,14 \times 49.6 \times 7.2082}{75} = 29.937 \text{ л.с.}$$

Определение эффективной мощности мотора или как её ещё называют буксировочной мощности (EHP) :

$$EHP = \frac{R_T \times V}{75}$$

R_T - полное сопротивление воды движению судна в кгс

V - скорость лодки = 15.833 м/сек

Значение R_T определяются по следующей формуле :

$$R_T = T \times (1 - t)$$

$$R_{T1} = 109.546 \times (1 - 0.04) = 105.164 \text{ кгс}$$

$$R_{T2} = 105.159 \times (1 - 0.00) = 105.159 \text{ кгс}$$

$$EHP_1 = \frac{105.164 \times 15.833}{75} = 22.20 \text{ л.с.}$$

$$EHP_2 = \frac{105.160 \times 15.833}{75} = 22.19 \text{ л.с.}$$

В качестве перепроверки того что полученные значения верны - воспользуемся следующими формулами :

$$D = \sqrt[4]{\frac{T}{p \times n^2 \times K_T}}$$

$$D_1 = \sqrt[4]{\frac{109.546}{102 \times 49.6^2 \times 0.07157}} = 0.2794$$

$$D_2 = \sqrt[4]{\frac{105.159}{102 \times 49.6^2 \times 0.0687}} = 0.2794$$

Так же показательным выглядит перепроверка значений КПД через соотношение эффективной мощности ЕНР к мощности поставленной на гребной вал DHP :

$$n_o = \frac{EHP}{EHD}$$

$$n_{o1} = \frac{22.20}{29.936} = 0.74$$

$$n_{o2} = \frac{22.19}{29.936} = 0.74$$

Корректность расчётов перепроверяется и следующей формулой :

$$n_o = \frac{K_T}{K_Q} \times \frac{J}{2\pi}$$

$$n_{o1} = \frac{0.07157}{0.01689} \times \frac{1.0967}{2 \times 3.14} = 0.74$$

$$n_{o2} = \frac{0.0687}{0.01689} \times \frac{1.1424}{2 \times 3.14} = 0.74$$

Итог произведённых вычислений

Относительное скольжение:

$S_1 = 0.1383$ по отношению к $S_2 = 0.1023$ имеет расхождение в 3.6%

КПД гребного винта:

$n_o = 0.74$ - в конкретном случае КПД винта одинаков для обоих вариантов

Упор создаваемый винтом :

$T_1 = 109.546$ кгс против $T_2 = 105.159$ кгс имеет расхождение в 4.387 кгс

Полное сопротивление воды движению судна :

$R_{T1} = 105.164$ кгс против $R_{T2} = 105.159$ кгс имеет расхождение в 0.005 кгс

Мощность поставленная на гребной вал :

DHP = 29.936 л.с. - вполне предсказуемый показатель

Эффективная мощность :

$ENP_1 = 22.20$ л.с. по отношению к $ENP_2 = 22.19$ л.с. практически одинакова – собственно это не удивительно когда $n_o = 0.74$.