

Моторная лодка «Физкультурник»

Исходные данные

Вес лодки с мотором, топливом и 3 пассажирами = 0,4 т

Мощность мотора «Hidea HD20FHS» условно = 18-20 л.с.

Максимальное число оборотов двигателя = 5750 об/мин

Передаточное соотношение в редукторе = 1,85:1

Параметры гребного винта :

Число лопастей – Z = 3 лопасти

Диаметр винта – D = 9,25 дюйма = 0,235 м

Шаг винта – H = 12 дюймов = 0,3048 м

Шаговое отношение – H/D = 1.297

Дисковое отношение – $A_e/A_o = 0.477$

На испытаниях при водоизмещении в 0,4 тонны и оборотах мотора в 4550 об/мин была зафиксирована скорость в 40 км/час

$V_A = 40 \text{ км/час} = 24,860 \text{ миль/час} = 21,584 \text{ узла} = 11,11 \text{ м/сек}$

Цель дальнейших вычислений

Подтвердить или опровергнуть заявление о том что данный мотор может иметь мощность ниже озвученной производителем в N = 18 – 20 л/с , а так же определить его эффективную мощность для описываемого случая.

Расчетная часть

Определение максимально возможной скорости :

$$V=6 \times \sqrt{\frac{N}{D}}$$

V – максимально возможная скорость в км/час

N – мощность двигателя в л.с.

D – весовое водоизмещение в тоннах

В качестве перепроверки заявлений о том что мощность данного мотора ниже заявленных производителем показателей, приводим дополнительный расчёт в котором мощность N = 15 л.с. :

$$V_0 = 6 \times \sqrt{\frac{15}{0,4}} = 36,742 \text{ км/час}$$

$$V_1 = 6 \times \sqrt{\frac{18}{0,4}} = 40,249 \text{ км/час}$$

$$V_2 = 6 \times \sqrt{\frac{20}{0,4}} = 42,426 \text{ км/час}$$

Теоретически возможная скорость по альтернативной формуле :

$$V=3,14 \times \sqrt{\frac{N}{D}}$$

V – максимально возможная скорость в уз.

N – мощность двигателя в л.с.

D – весовое водоизмещение в тоннах

$$V_1 = 3,14 \times \sqrt{\frac{18}{0,4}} = 21,063 \text{ уз.}$$

$$V_1 = 21,063 \times 1,852 = 39,008 \text{ км/час}$$

$$V_2 = 3,14 \times \sqrt{\frac{20}{0,4}} = 22,203 \text{ уз.}$$

$$V_2 = 22,203 \times 1,852 = 41,119 \text{ км/час}$$

Начальная скорость выхода на режим глиссирования :

$$V = 9,45 \times \sqrt[6]{D}$$

V – скорость в м/с

D – весовое водоизмещение в тоннах

$$V = 9,45 \times \sqrt[6]{0,4} = 8,11 \text{ м/с}$$

$$V = 8,11 \text{ м/с} = 29,202 \text{ км/час}$$

Определение теоретической возможной скорости при которой относительное скольжение винта $S = 0$:

Воспользуемся следующей формулой :

$$V = 0,001524 \times n \times H \times K$$

V – скорость в км/час

n – обороты двигателя в об/мин

H – шаг гребного винта в дюймах

K – передаточное соотношение в редукторе

$$V = 0,001524 \times 4550 \times 12 \times 1/1.85 = 44,978 \text{ км/час}$$

$$V = 44,978 \text{ км/час} = 12,493 \text{ м/с}$$

Альтернативный вариант расчета :

$$V = \frac{H \times n}{K \times 1056}$$

V – скорость в сухопутных милях

$$V = \frac{12 \times 4550}{1,85 \times 1056} = 27,948 \text{ миль/час}$$

$$V = 27,948 \times 1,609 = 44,968 \text{ км/час}$$

Определение относительного скольжения:

$$S = \frac{V - V_A}{V}$$

S – относительное скольжение выраженное в долях

V – теоретическая скорость в км/час

V_A - фактическая скорость в км/час

$$S = \frac{44,968 - 40,0}{44,968} = 0,11$$

Альтернативный вариант расчета значений относительного скольжения :

$$S = \left(1 - \frac{V_A \times 1056 \times K}{n \times H} \right) \times 100\%$$

S – относительное скольжение выраженное в %

V_A - фактическая скорость в миль/час

K – передаточное соотношение в редукторе

n – обороты двигателя в об/мин

H – шаг винта в дюймах

$$S = \left(1 - \frac{24,860 \times 1056 \times 1,85}{4550 \times 12} \right) \times 100 \% = 11 \%$$

Математический способ определения фактической скорости :

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

V_A - фактическая скорость в км/час

V – теоретическая скорость в км/час

w - коэффициент попутного потока равный значению S выраженного в долях

$$V_A = 44,968 \times (1 - 0,11) = 40,021 \text{ км/час}$$

Расчет кинематических характеристик гребного винта

Расчет числа оборотов гребного винта :

$$n_{в} = \frac{n}{60} \times j$$

n – обороты двигателя в об/мин

$$j = 1/1,85 = 0,54$$

$$n_{в} = \frac{4550}{60} \times 0,54 = 40,95 \text{ об/сек}$$

Определение относительной поступи :

$$J = \frac{V_A}{n_{в} \times D_{в}}$$

V_A - фактическая скорость в м/сек

$n_{в}$ - обороты винта в об/сек

$D_{в}$ – диаметр винта в метрах

$$J = \frac{11,11}{40,95 \times 0,235} = 1,154$$

Определение линейной поступи :

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

$$h_p = \frac{11,11}{40,95} = 0,271$$

Определение абсолютного скольжения винта :

$$S_p = H - h_p$$

$$S_p = 0,3048 - 0,271 = 0,033$$

Определение относительного скольжения винта :

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

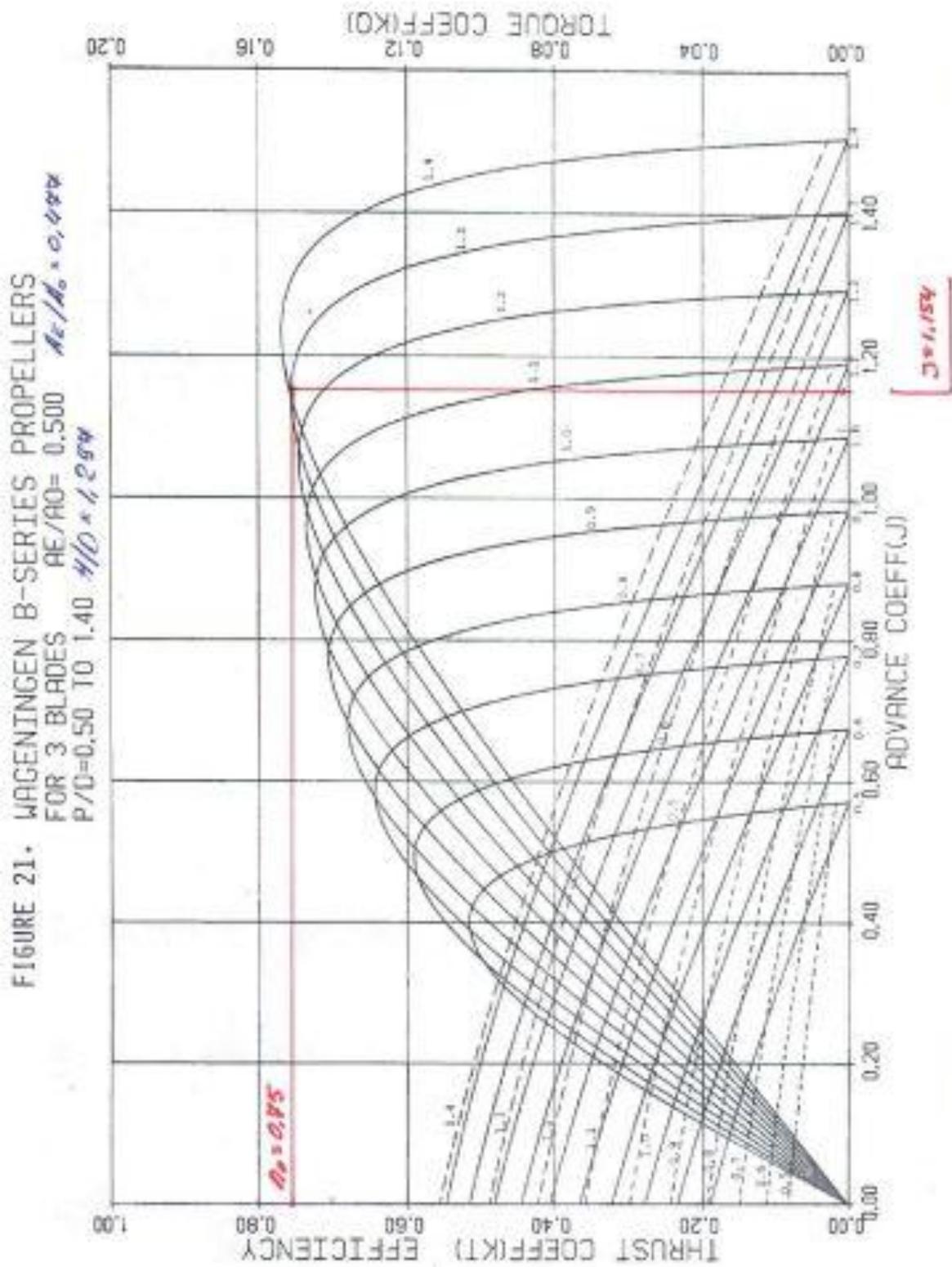
$$S = 1 - \frac{0,271}{0,3048} = 0,114$$

$$S = 0,114 \times 100\% = 11,4\%$$

Так как нам не известны скоростные данные при минимальном водоизмещении - и в следствии этого мы не в состоянии определить величину суммарной погрешности возникающей из за использования не типовых приборов контроля за скоростным перемещением судов, то будем считать что найденное в ходе расчётов значение относительного скольжение и есть истинный показатель присущий для этой лодки.

Расчёт гидродинамических характеристик гребного винта

По графику находим значение КПД винта – и как видим он равен $\eta_0 = 0,75$:



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

$$K_T = \frac{n_0 \times K_Q \times 2 \times \pi}{J}$$

K_T – коэффициент тяги (упора)

n_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 – удельный вес воды = 102 кгс x с²/м⁴

n – число оборотов гребного винта = 40,95 об/сек

D – диаметр гребного винта = 0,235 м

Момент определяется через следующее вычисление :

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

N – мощность двигателя в л.с.

n - обороты гребного винта = 2459 об/мин

$$Q_1 = \frac{18 \times 716,2}{2459} = 5,2426$$

$$Q_2 = \frac{20 \times 716,2}{2459} = 5,8251$$

$$K_{Q_1} = \frac{5,2426}{102 \times 40,95^2 \times 0,235^5} = 0,0437$$

$$K_{Q_2} = \frac{5,8251}{102 \times 40,95^2 \times 0,235^5} = 0,0486$$

Теперь определим значения коэффициента тяги (упора) :

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

$$K_{T_1} = \frac{0,75 \times 0,0437 \times 2 \times 3,14}{1,154} = 0,17835$$

$$K_{T_2} = \frac{0,75 \times 0,0486 \times 2 \times 3,14}{1,154} = 0,19835$$

Для определения значения тяги винта воспользуемся следующей формулой :

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

T – тяга (упор) винта в кгс

K_T - коэффициент тяги (упора)

ρ – удельный вес воды = 102 кгс \times с²/м⁴

n – число оборотов гребного винта = 40,95 об/сек

D – диаметр гребного винта = 0,235 м

$$T_1 = 0,17835 \times 102 \times 40,95^2 \times 0,235^4 = 91,516 \text{ кгс}$$

$$T_2 = 0,19835 \times 102 \times 40,95^2 \times 0,235^4 = 101,779 \text{ кгс}$$

Альтернативный вариант расчета значений тяги (упора) гребного винта :

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

n_H – коэффициент влияния корпуса

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

t – коэффициент засасывания гребного винта = 0,11

w – коэффициент попутного потока равный значению $S = 0,11$

$$n_H = \frac{(1 - 0,11)}{(1 - 0,11)} = 1$$

$$T_1 = \frac{75 \times 18 \times 0,75 \times 1}{11,11} = 91,516 \text{ кгс}$$

$$T_2 = \frac{75 \times 20 \times 0,75 \times 1}{11,11} = 101,779 \text{ кгс}$$

Определение мощности поставленной на гребной вал (DHP) :

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

$$DHP_1 = \frac{2 \times 3,14 \times 40,95 \times 5,2426}{75} = 17,97 \text{ л.с.}$$

$$DHP_2 = \frac{2 \times 3,14 \times 40,95 \times 5,8251}{75} = 19,97 \text{ л.с.}$$

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

$$\text{ЕНР} = \frac{R_T \times V}{75}$$

R_T - полное сопротивление воды движению судна в кгс

V - теоретическая скорость в м/сек

Значение R_T определяем по следующей формуле :

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

$$R_{T_1} = 91,516 \times (1 - 0,011) = 81,449 \text{ кгс}$$

$$R_{T_2} = 101,779 \times (1 - 0,011) = 90,583 \text{ кгс}$$

$$\text{ЕНР}_1 = \frac{81,449 \times 12,493}{75} = 13,56 \text{ л.с.}$$

$$\text{ЕНР}_2 = \frac{90,583 \times 12,493}{75} = 15,08 \text{ л.с.}$$

Итоги произведённых расчётов

По результатам проделанных вычислений можно с уверенностью сказать что мощность мотора установленного на моторную лодку «Физкультурник» соизмерима значениям в 18 -20 л.с. – на что собственно и указывали сторонние источники. Эффективная мощность же у этого мотора как видно из расчётов соответственно равна 13,5 – 15 л.с..