

Дзюба А.Ф. Повышение энергетической эффективности движения в водной среде.

Возможность существенного увеличения скорости хода судов открывается из физической формулы скорости хода, полученной для судна с простейшей, корытообразной формой корпуса и носовой частью в виде двойного клина с углом при его вершине 2α , где α - угол атаки боковых носовых граней.

$$v = \sin^{-0.75} \alpha \sqrt{\frac{1}{2} \frac{N_p}{M} RT \sqrt{\frac{a}{l_y}}}; \quad (1)$$

где α – угол атаки, град.;

N_p – мощность, подводимая к гребному винту, кВт;

M – массовое водоизмещение, т;

R – гидравлический радиус, м;

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (2)$$

ω - площадь сечения корпуса при его осадке H и ширине B , м²;

$$\omega = B \cdot H; \quad (3)$$

χ - смоченный периметр, м;

$$\chi = B + 2H; \quad (4)$$

$$\sin \alpha = \frac{\omega}{\Omega}; \quad (5)$$

Ω - площадь боковых граней носовой части корпуса, м²;

$a = 1435$ м/с – скорость звука в воде;

$\nu = 1.1 \cdot 10^{-6}$ м²/с – коэффициент кинематической вязкости воды при $t=16^\circ\text{C}$;

l_y – длина эквивалентного по водоизмещению цилиндрического тела без носовых и кормовых обводов, м;

$$l_y = \frac{V}{\omega}; \quad (6)$$

V – объемное водоизмещение, м³;

T – продолжительность одного импульса упора гребного винта, с;

$$T = \frac{l_y}{c}; \quad (7)$$

$c = 5100$ м/с – скорость звука в стали, скорость пробегания ударных волн по корпусу;

Выражение под корнем в формуле (1) является скоростью хода эквивалентного цилиндрического тела, а множитель перед корнем $\sin^{-0.75} \alpha$ является коэффициентом эффективности действия носовых обводов на ходкость тела, после оборудования его обводами без изменения водоизмещения.

Как показано в [1, §5] для судов водоизмещением от 1500 м³ до 7000 м³, с современной традиционной формой носовых обводов, эффективность обводов имеет равное для всех судов значение, по величине эквивалентное эффективности носовой части в форме двойного клина с углом атаки носовых граней

$$\alpha = 40^\circ; \quad (8)$$

То есть для всех судов указанного диапазона водоизмещений применима формула (1) с коэффициентом

$$K_9 = \frac{1}{\sin^{0.75} 40^\circ} = 1.393; \quad (9)$$

Из-за ударно-дискретного характера действия упора гребного винта на корпус судна [1, §2], корпус постоянно испытывает от гребного винта чередующиеся с периодичностью T импульсы.

За время каждого импульса по корпусу пробегает ударная волна, и в момент ее добегаания до носовой части корпуса, судно приобретает приращение скорости поступательного движения

$$\Delta v = GT; \quad (10)$$

где G – ускорение, м/с²;

$$G = \frac{F}{M}; \quad (11)$$

где F – упор гребного винта;

Одновременно с этим носовая часть корпуса судна ударяет по встречной жидкости, резко отклоняясь от цилиндрической части на расстояние Δl – величину линейной деформации упругого сжатия корпуса, сжатого упором гребного винта за время T .

$$\Delta l = GT^2; \quad (12)$$

При движении судна в водной среде его носовая часть постоянно совершает резкие толчки, удары по встречной жидкости с частотой

$$\nu_0 = \frac{1}{T}; \quad (13)$$

Подтверждение этих ударов отмечено в литературе в виде наблюдавшихся у реального судна периодических колебаний давления в пограничном слое, которые характеризуют количество энергии, затраченной на турбулизацию, [2, гл.5].

Если в формуле скорости (1) увеличивать продолжительность T действия импульса упора гребного винта, то будем получать увеличение скорости хода судна.

Эффективное время действия импульса гребного винта, при котором достигается наибольшая скорость хода судна, определилось в [1, §6.1] формулой

$$T_{эф} = \frac{2l_u}{a}; \quad (14)$$

Сравнивая (14) и (7), замечаем, что продолжительность импульса увеличивается в $\frac{2c}{a} = 7.1$ раза.

При этом, частота ударов носовой поверхности по встречной жидкости, следуя (13), уменьшается в 7.1 раза, что ведет к уменьшению в 7.1 раза количества энергии, затрачиваемой на турбулизацию.

Величина линейной деформации упругого сжатия корпуса Δl по (12) увеличивается в $7.1^2 = 50$ раз.

Достигается это установкой между носовой частью корпуса и его цилиндрической частью упругой вставки необходимой расчетной жесткости на сжатие в 50 раз меньшей, чем жесткость корпуса судна.

Описание конструкции устройства и методика расчета упругой вставки приведены в [3, §4].

Из формулы скорости (1) следует, что при увеличении в ней продолжительности импульса T в 7.1 раза скорость хода судна увеличивается в $\sqrt{7.1} = 2.67$ раза.

Формула необходимой мощности N_p , подводимой к гребному винту, из (1) получена в виде

$$N_p = \frac{2Mv^2 \sin^{1.5} \alpha}{RT \sqrt{v l_u}}; \quad (15)$$

Из (15) следует, что современная скорость хода судов при увеличенной продолжительности импульса T гребного винта в 7.1 раза, может обеспечиваться и потребляемой мощностью в 7.1 раза меньшей чем потребляемая мощность современных судов.

Выводы: 1. Получена формула скорости хода судна, принципиально соответствующая процессам взаимодействия гребного винта с корпусом

судна и корпуса судна со встречной жидкостью, сопровождающимся затратами энергии на турбулизацию.

2. Установка упругой вставки пониженной жесткости на сжатие в корпусе судна ведет к существенному сокращению затрат энергии на турбулизацию воды и существенному увеличению скорости хода судна.

3. По энергетической эффективности движения суда, оборудованные упругими вставками, в 7.1 раза более эффективны, чем современные суда, что по эффективности движения вплотную приближает их к обитателям водной среды – дельфинам, у которых эффективность движения, согласно исследований английского ученого Джеймса Грея в 10 раз выше, чем у реальных судов; - известный в науке феномен, «парадокс Грея».

Литература:

1. Дзюба А.Ф. Повышение энергетической эффективности современного судоходства или новый тип водоизмещающих судов, 69с. Деп.рук. №1150-В2006, ВИНТИ, М., 2006г. Интернет, сайт: www.newhydraulics.ru.
2. Томас К.Гилмер. Проектирование современного корабля. Л. «Судостроение», 1984г, перевод «Modern ship design» by Thomas C.Gillmer. US Naval Institute, Annapolis, Mariland, 1977г.
3. Дзюба А.Ф. Технология 2-кратного увеличения скорости хода тихоходных судов (сухогрузов, танкеров, супертанкеров) 35с. 2009г, интернет, сайт www.newhydraulics.ru.
4. Дзюба А.Ф. Физическая природа скорости хода реальных судов и способов ее повышения, 22с. 2012г, Интернет. сайт www.newhydraulics.ru.

Анатолий Дзюба