

УДК 629.123.4

А.Ф.Дзюба

**ФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОДИНАМИКА СУДОВ И
НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ У НИХ
В ДВИЖЕНИИ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ**

г.Новочеркасск

2016г

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | | |
|---|---|----|
| | Введение..... | 3 |
| 1 | Ударно-дискретный характер действия движущей силы на корпус судна.. | 4 |
| 2 | Условие перехода движения судна в равномерный режим, разгонное число, скорость хода, мощность на гребном винте..... | 7 |
| 3 | Проверка достоверности формул..... | 8 |
| 4 | Составляющие гидравлического сопротивления. Сопротивление трения. Лобовое сопротивление..... | 10 |
| 5 | Необходимое условие нейтрализации лобового сопротивления..... | 11 |
| 6 | Характеристика упругих свойств тела дельфина..... | 13 |
| 7 | Энергетическая эффективность движения судов с уменьшенной энергопроводностью корпуса..... | 15 |
| 8 | Технология уменьшения жесткости корпуса реальных судов до эффективной..... | 17 |
| | Выводы..... | 19 |
| | Литература..... | 20 |

ВВЕДЕНИЕ

Бедственно-агонизирующее состояние современного гражданского флота объясняется низкой, на грани убыточности рентабельностью современных судов.

Отсутствие чистого дохода от эксплуатации судов из-за несоразмерного большого потребления топлива при весьма низкой скорости хода, 20-25 км/ч, не позволяет судовладельцам не только заменять старые суда новыми, но даже осуществлять качественный ремонт судов и поддерживать в рабочем состоянии инфраструктуру причальных сооружений и самих причалов.

Низкая рентабельность, убыточность судов вынуждает судовладельцев изыскивать дополнительные меры по повышению доходности судов, основная из которых перегруз судна, что часто приводит к его гибели. Напомним резонансные катастрофы. Теплоход «Булгария», 10 июля 2011 года, погибло 122 человека. Причина – перегруз судна, помещения для пассажиров расширены за счет имеющихся на 150 мест до 200 с нарушением герметичности переборок. Теплоход принял на борт на треть больше положенного пассажиров.

Траулер «Дальний Восток», 2 апреля 2015 года, погибло 62 человека. Причина – перегруз судна, для чего в трюме демонтированы герметичные переборки для большего вмещения рыбы.

Объективная реальность – низкая, на грани убыточности рентабельность судов ставит в XXI веке на первое место сам вопрос выживания водного транспорта гражданского флота России.

Полученные новые, физические результаты исследования движения в жидкости [1], [2], [3], [4], позволяют преодолеть основной, губительный недостаток водного транспорта – низкую рентабельность судов.

Нейтрализация лобового сопротивления обеспечивает судам водного транспорта двукратное увеличение скорости хода, 40-50 км/ч, без дополнительных затрат мощности и топлива.

1. Ударно-дискретный характер действия движущей силы на корпус судна

Как показано в [1] и [3], действие упора гребного винта на корпус судна является не статически непрерывным во времени, как принято считать, а является ударно-дискретным. Все время t действия движущей силы состоит из непрерывно чередующихся отдельных равных n промежутков времени T , определяемых временем пробегания по корпусу деформации упругого сжатия, т.е. $t = nT$, где

$$T = \frac{l_u}{c}; \quad (1)$$

где, l_u - длина судна;

c – скорость звука в материале корпуса судна, для стали $c=5100\text{м/с}$, скорость распространения деформации упругого сжатия по корпусу;

С момента набегания гребного винта на корпус, с момента удара, частицы поверхности корпуса, воспринимающие упор гребного винта, смещаются от положения равновесия со скоростью смещения Δv

$$\Delta v = GT; \quad (2)$$

где G – ускорение, м/с^2 ;

$$G = \frac{F}{M}; \quad (3)$$

F – движущая сила, Кн;

M - масса судна, т;

$$M = \rho V = \rho \omega l_u \quad (4)$$

где ρ - 1.0 т/м^3 – плотность воды;

V - объемное водоизмещение судна, м^3 ;

l_u – длина судна по ватерлинии, приведенная к длине цилиндрического тела без носовых обводов, м;

$$l_u = \frac{V}{\omega}; \quad (5)$$

За время T импульса по корпусу судна пробегает со скоростью звука ударная волна, сила воздействия которой на корпус судна определяется ударным давлением в фронте волны $\rho_{y\partial} = \rho \Delta v c$, т.е.

$$F = \rho \Delta v c \omega; \quad (6)$$

Подставляя в (6) Δv по (2), T по (1) и принимая M по (4), после сокращений получаем

$$F = MG; \quad (7)$$

То есть, во все время T импульса, на судно действует движущая сила, модуль которой равен упору гребного винта, из (3), но точка приложения движущей силы перемещается вдоль корпуса судна со скоростью звука.

К концу времени T корпус судна оказывается в сжатом состоянии на величину $\Delta l = \Delta v T$, где при Δv по (2)

$$\Delta l = GT^2; \quad (8)$$

а все частицы корпуса приобретают скорость смещения от положения равновесия Δv по (3).

По истечении времени T скорость смещения Δv частиц корпуса становится скоростью поступательного движения судна, т.е. судно получает приращение кинетической энергии $\Delta E = \frac{1}{2} M \Delta v^2$. Одновременно с началом поступательного движения со скоростью Δv , носовая часть корпуса осуществляет удар по встречной жидкости, высвобождая потенциальную энергию упругого сжатия корпуса, смещаясь при этом на расстояние Δl по (8).

При этом встречная жидкость воспринимает от удара носовой части энергию, модуль которой, как показано в [1], равен приращению кинетической энергии движения судна, т.е. $\Delta \Pi = \frac{1}{2} M \Delta v^2$.

Как показано в [3], давление движущей силы, упора гребного винта на корпус судна в месте его приложения изменяется за время T от F в момент начала удара и до $F=0$ в момент его завершения по истечении времени T , то есть гребной винт в момент удара полностью передает на корпус судна реакцию отбрасываемой им воды, а в процессе удара, тормозя свою скорость

набегания, начинает своим противодвижением воспринимать непосредственно на себя реакцию отбрасываемой воды, уменьшая силу давления на корпус, в пределе до $F=0$ по завершении удара.

Если измерять динамометром движущую силу в месте ее приложения к корпусу, то при ее изменении, пульсации от F до $F=0$, динамометр из-за инерционности прибора, показывает ее среднее значение

$$F_{ос} = \frac{F}{2}; \quad (9)$$

Следовательно, при развиваемой скорости v мощность, потребляемая гребным винтом, должна быть в 2 раза меньше фактически измеренной мощности, т.е.

$$N = F_{ос} v = \frac{1}{2} F v; \quad (10)$$

Для устранения этого несоответствия практическая гидродинамика ввела понятие коэффициента полезного действия, к.п.д., движителя, для гребных винтов этот к.п.д., как показано в [3], $\eta=0.5$.

Разделив (10) на $\eta=0.5$, получаем соответствие расчетной мощности фактически необходимой мощности, приложенной к гребному винту для движения судна с расчетной скоростью хода v .

При безусловной точности современного метода определения мощности энергетических установок судов, существенным его недостатком является двукратное занижение сил сопротивления движению судна, двукратное занижение величины сжимающей силы, действующей в движении на корпус судна.

В общем виде, при разгоне судна из состояния покоя силой F , за время $t=nT$ судно приобретает скорость поступательного движения $v=n\Delta v$, а его носовая часть совершает n ударов по встречной жидкости, высвобождая каждым ударом потенциальную энергию $\Delta\Pi$ упругого сжатия корпуса и, тем самым, нагнетая встречную жидкость в волну подпора перед носовой частью судна.

Таким образом, гребной винт у судна является не только двигателем, но и генератором продольных волн упругого сжатия корпуса судна с частотой $\omega_0 = \frac{1}{T}$ и амплитудой $a = GT^2$;

2. Условие перехода движения судна в равномерный режим, разгонное число, скорость хода, мощность на гребной винте.

Для реального судна с простейшей формой его носовых обводов в виде двойного прямоугольного клина в [2] получено равенство, характеризующее условие, при котором ускоренное движение судна, ускоряясь движущей силой, упором гребного винта из состояния покоя, до скорости хода v , переходит в равномерный режим с этой скоростью хода.

Равенство, которое ни в коем случае нельзя считать уравнением движения, имеет вид:

$$\mu \frac{2v^2}{R} \chi l_{\psi} = \frac{1}{\sin^3 \alpha} \frac{1}{2} \rho \Delta v^2 a \omega; \quad (11)$$

Левая часть равенства (11) есть мощность силы вязкого трения на смоченной поверхности судна χl_{ψ} , затрачиваемая против движения, правая часть равенства (11) есть поток потенциальной энергии, переносимой по жидкости от носовой поверхности судна, имеющий размерность мощности, способствующий движению.

При равенстве этих единичных энергий судно переходит в равномерный режим движения со скоростью хода v .

Подставим в (11) скорость хода в виде

$$v = n_o \Delta v; \quad (12)$$

где n_o – разгонное число, число импульсов движущей силы F по корпусу судна на участке его разгона до скорости хода v равномерного движения;

Δv – приращение скорости хода за время T одного импульса движущей силы по (2);

$$\mu \frac{2n_o^2 \Delta v^2}{R} \chi l_{\psi} = \frac{1}{\sin^3 \alpha} \frac{1}{2} \rho \Delta v^2 a \omega; \quad (13)$$

Сокращая обе части равенства (13) на Δv^2 получаем формулу разгонного числа, учитывая, что $R = \frac{\omega}{\chi}$ и $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

$$n_0 = \frac{1}{\sin^{1.5} \alpha} \frac{1}{2} R \sqrt{\frac{a}{\nu l_y}}; \quad (14)$$

Подставляя в (12) разгонное число по (14) и учитывая, что $\Delta v = GT$, а $G = \frac{F}{M}$, получаем формулу скорости хода

$$\nu = \frac{1}{\sin^{1.5} \alpha} \frac{1}{2} \frac{F}{M} TR \sqrt{\frac{a}{\nu l_y}}; \quad (15)$$

Так как в (15) $F = \frac{N}{\nu}$, то формула скорости хода, выраженная через мощность N на гребном винте, принимает вид

$$\nu = \frac{1}{\sin^{0.75} \alpha} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{N}{M} RT \sqrt{\frac{a}{\nu l_y}}}; \quad (16)$$

Необходимая мощность на гребном винте для заданной скорости хода ν из (16) записывается в виде

$$N = \frac{2M\nu^2 \sin^{1.5} \alpha}{RT \sqrt{\frac{a}{\nu l_y}}}; \quad (17)$$

Через разгонное число n_0 формула скорости хода (16) имеет более простой вид

$$\nu = \sqrt{\frac{N}{M} n_0 T}; \quad (18)$$

а формула мощности по (17) записывается в виде

$$N = \frac{M\nu^2}{n_0 T}; \quad (19)$$

3. Проверка достоверности формул

Осуществлялась на реальных судах с водоизмещением от 50 м³ до 7000 м³. При известной мощности энергетических установок определялась по

формуле расчетная скорость хода, которая сравнивалась с действительной крейсерской скоростью хода. Расчеты сведены в таблицу 1.

Таблица 1

| №№ п/п | Показатели | Наименование судов | | | |
|---------------------------|--|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | «Волго-Дон» | «Волго-Балт» | «Большая Волга» | «Москвич» |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Параметры судов | | | | | |
| 1 | Водоизмещение, V, м ³ | 6755 | 3920 | 2740 | 52.6 |
| 2 | Длина L, м | 135 | 110.1 | 90 | 24.8 |
| 3 | Ширина B, м | 16.5 | 13.0 | 13.0 | 4.45 |
| 4 | Осадка в грузу H, м | 3.5 | 3.35 | 2.81 | 0.90 |
| 5 | Мощность двигателей P, л.с/кВт | <u>2000</u> 1472 | <u>1200</u> 883.2 | <u>800</u> 588.8 | <u>150</u> 110.4 |
| 6 | Крейсерская скорость v_k , $\frac{км/ч}{м/с}$ | <u>21.0</u> 5.83 | <u>19.50</u> 5.42 | <u>17.80</u> 4.94 | <u>19.0</u> 5.28 |
| Результаты расчета | | | | | |
| 7 | Масса судна M=ρV, т | 6755 | 3920 | 2740 | 52.6 |
| 8 | Коэфф. использования мощности η | 0.90 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| 9 | Мощность на гребном винте N=ηP, кВт | 1324.8 | 794.9 | 529.92 | 99.36 |
| 10 | Площадь миделевого сечения, м ² $\omega=BH$ | 57.75 | 43.55 | 36.53 | 4.0 |
| 11 | Смоченный периметр, м $\chi=B+2H$ | 23.5 | 19.70 | 18.62 | 6.25 |
| 12 | Гидравлический радиус, м $R=\frac{\omega}{\chi}$ | 2.46 | 2.21 | 1.96 | 0.64 |
| 13 | Приведенная длина судна, м $l_u=\frac{V}{\omega}$ | 117.0 | 90.0 | 75.0 | 13.5 |
| 14 | Время импульса, с $T=\frac{l_u}{c}$; при c=5100 м/с | 0.023 | 0.0177 | 0.0147 | $2.58 \cdot 10^{-3}$ |
| 15 | Эквивалентный угол атаки α, град. | 42 | 42 | 42 | 42 |
| 16 | Разгонное число по ф-ле (14), n_0 при $v = 1.1 \cdot 10^{-6} м^2/с$ и $\alpha=1435 м/с$ | 7503.8 | 7686.15 | 7467.3 | 5823.1 |
| 17 | Скорость хода, ф-ла (18) $v = \sqrt{\frac{N}{M}} n_0 T$; $\frac{км/ч}{м/с}$ | 20.95 5.82 | 18.9 5.25 | 16.60 4.61 | 19.2 5.33 |
| 18 | Погрешность над крейсерской скоростью по п.б таблицы $\Delta = \frac{v-v_k}{v_k} 100\%$; % | -0.17 | -3.10 | -6.7 | +0.95 |

Ничтожная погрешность между расчетной скоростью хода судов и действительной крейсерской скоростью подтверждает практическую достоверность полученных формул и возможность их использования при проектировании судов для расчета мощности энергетических установок аналитическим способом.

Из таблицы следует, что у реальных судов форма носовых обводов практически эквивалентная форме в виде двойного прямоугольного клина с постоянным углом атаки $\alpha=42^\circ$ при угле в вершине $2\alpha=84^\circ$.

4. Составляющие гидравлического сопротивления. Сопротивление трения. Лобовое сопротивление

Энергетическое равенство (11) в проекции на направление движения, совпадающее с продольной осью судна, записывается путем умножения обеих его частей на $\sin^3\alpha$, то есть

$$\sin^3\alpha \mu \frac{2v^2}{R} \chi l_y = \frac{1}{2} \rho \Delta v^2 a \omega; \quad (20)$$

Разделим обе части равенства (20) на Δv и, учитывая по (12), что $\frac{v}{\Delta v} = n_o$, после сокращений получаем

$$\sin^3\alpha n_o \mu \frac{2v}{R} \chi l_y = \frac{1}{2} \rho \Delta v a \omega; \quad (21)$$

Левая часть равенства (21) есть сила трения F_{mp} , развиваемая на смоченной поверхности корпуса χl_y . Правая часть равенства (21) есть та же сила трения F_{mp} , но выраженная в долях от движущей силы F . Для этого в правую часть (21) подставим $\Delta v = GT$, $G = \frac{F}{M}$ по (3), $T = \frac{l_y}{c}$ по (1) и после сокращений на M , учитывая по (4), что $\rho \omega l_y = M$, равенство (21) принимает вид

$$F_{mp} = \sin^3\alpha n_o \mu \frac{2v}{R} \chi l_y = \frac{a}{2c} F; \quad (22)$$

Замечаем в (22), что сила трения осуществляется повышенным коэффициентом вязкости, назовем его коэффициентом турбулентной вязкости

$$\mu_{mp\delta} = n_o \mu; \quad (23)$$

При ударно-дискретном характере действия движущей силы, упора гребного винта F , смоченная поверхность корпуса подвержена поперечным вибрациям из-за периодических пробеганий по корпусу волн упругого сжатия корпуса с частотой $\omega_o = \frac{1}{T}$, что объясняет увеличение значения коэффициента вязкости воды по (23) пропорционально разгонному числу n_o .

Так для сухогруза «Волго-Дон», коэффициент турбулентной вязкости оказывается в n_o , см.табл.1, раз больше природного коэффициента динамической вязкости воды $\mu = 1.1 \cdot 10^{-3}$; и равен

$$\mu_{\text{трб}} = 7503.8 \cdot 1.1 \cdot 10^{-3} = 8.25 \text{ кг/мс}; \quad (24)$$

Из равенства (22) движущая сила F соотносится с силой трения выражением

$$F = \frac{2c}{a} F_{\text{тр}}; \quad (25)$$

При равномерном движении судна движущая сила F уравнивается силой сопротивления трения $F_{\text{тр}}$ и силой лобового сопротивления, т.е.

$$F = F_{\text{тр}} + F_{\text{лоб}}; \quad (26)$$

Откуда сила лобового сопротивления равна

$$F_{\text{лоб}} = F - F_{\text{тр}}; \quad (27)$$

Подставляя в (27) $F_{\text{тр}}$ по (22), сила лобового сопротивления соотносится с движущей силой F уравнением

$$F_{\text{лоб}} = F \left(1 - \frac{a}{2c} \right); \quad (28)$$

5. Необходимое условие нейтрализации лобового сопротивления

Анализируя формулы (22), (25) и (28), замечаем, что если бы скорость распространения упругой деформации по корпусу судна равнялась половине скорости звука в воде, то есть

$$c = \frac{a}{2}; \quad (29)$$

То сопротивление движению судна определялось бы только силой сопротивления трения $F_{тр}$, т.к. в формулах (22) и (25) коэффициенты $\frac{a}{2c}$ и $\frac{2c}{a}$ обращаются в единицу.

Сила же лобового сопротивления по (28) при скорости деформации по (29) обращается в нуль, т.к. коэффициент в скобках $(1 - \frac{a}{2c})$ обращается в нуль.

Таким образом, наиболее эффективная продолжительность времени $T_{эф}$ импульса движущей силы в формулах скорости хода, по (1), должна следовать виду

$$T_{эф} = \frac{2l_u}{a}; \quad (30)$$

Впервые вывод формулы (30) получен в [1, §6.1], который не приводится из-за громоздкости и неочевидности рассуждений. Итак, необходимым и достаточным условием нейтрализации лобового сопротивления, $F_{лоб}=0$, является изменение упругих свойств корпуса судна, уменьшение скорости звука по корпусу судна до половины скорости звука в воде по (29). Это значит необходимо уменьшение коэффициента жесткости корпуса, уменьшение способности корпуса сопротивляться деформации продольного сжатия.

В общем виде величина линейной деформации упругого сжатия корпуса при ударном приложении движущей силы F равна

$$\Delta l = GT^2 \quad (31)$$

По третьему закону Ньютона со стороны корпуса против движущей силы действует равная ей сила, которая может быть выражена через коэффициент жесткости корпуса k и величину Δl упругого сжатия корпуса

$$F = k\Delta l \quad (32)$$

откуда жесткость корпуса равна

$$k = \frac{F}{\Delta l} \quad (33)$$

Подставляя в (33) силу из (3) как $F=MG$, а Δl по (31) после сокращений жесткость корпуса определяется формулой

$$k = \frac{M}{T^2} \quad (34)$$

Располагая (34) можно определить необходимую степень уменьшения жесткости корпуса для выполнения условия (29) обеспечивающего эффективное время $T_{эф}$ импульса движущей силы по (30), т.е.

$$\frac{k}{k_{эф}} = \frac{T_{эф}^2}{T^2}; \quad (35)$$

Подставляя в (35) $T_{эф}$ по (30) и T по (1), после сокращений на l_u получаем

$$\frac{k}{k_{эф}} = \frac{4c^2}{a^2}; \quad (36)$$

При $c = 5100$ м/с и $a = 1435$ м/с, скорость звука соответственно по стальному корпусу и по воде, из (36) получаем, что для нейтрализации лобового сопротивления при движении судна необходимо жесткость его корпуса уменьшить в 50.5 раз, т.е.

$$\frac{k}{k_{эф}} = 50.5 \quad (37)$$

6. Характеристика упругих свойств тела дельфина

Состав кожномышечной ткани дельфина на 75% представлен коллагеном - фибриллярным белком, представляющим основу соединительной ткани живого организма. Модуль упругости коллагена

$E_k = 10^7 \div 10^8$ Па (см. Интернет. Лекция 6. Механические свойства тканей. Таблица 6.1)

Плотность кожи дельфина $\rho_k = 1100$ кг/м³

Следовательно, скорость распространения упругих деформаций вдоль тела дельфина

$$c_d = \sqrt{\frac{E_k}{\rho_k}} = \sqrt{\frac{5.5 \cdot 10^8}{1100}} = 707 \text{ м/с} \quad (38)$$

То есть, скорость звука по телу дельфина в 2 раза меньше скорости звука в воде $a = 1435$ м/с

$$c_{\partial} = \frac{a}{2} \cong 707 \text{ м/с}; \quad (39)$$

В общем виде скорость звука в материале любого тела является показателем энергопроводности тела. По стальному корпусу судна потенциальная энергия упругого сжатия корпуса $\Delta\Pi$ переносится на встречную жидкость со скоростью $c = 5100 \text{ м/с}$, в 3.55 раза большей, чем эта энергия рассеивается по встречной жидкости со скоростью $a = 1435 \text{ м/с}$.

Этим объясняется возникновение между носовой поверхностью стального корпуса судна и встречной жидкостью положительного градиента гидродинамического давления, проявляющегося в виде волны подпора перед носовой поверхностью корпуса. Поток энергии на встречную жидкость от корпуса судна не успевает рассеиваться по встречной жидкости из-за меньшей энергопроводности воды.

Если энергопроводность по корпусу судна обеспечить по (29) или, как у дельфина по (39), то между судном и встречной жидкостью принципиально не может возникнуть положительный градиент гидродинамического давления из-за того, что скорость образования деформаций упругого сжатия во встречной жидкости в 2 раза меньше скорости рассеивания этих деформаций по ней.

Подобно тому, как при передаче тепловой энергии от тела с меньшей теплопроводностью телу с большей теплопроводностью на границе соприкосновения тел наблюдается отрицательный градиент температуры, так и при передаче потенциальной энергии от тела с меньшей энергопроводностью, $c = \frac{a}{2}$, воде, у которой энергопроводность в 2 раза выше, $c = a$, на границе устанавливается отрицательный градиент гидродинамического давления.

Впервые наличие отрицательного градиента гидродинамического давления в движении у дельфинов гипотетически предсказал в 30-х годах прошлого века Джеймс Грей (1891-1975). Гипотеза Дж.Грея наконец получила научное объяснение – энергопроводность тела дельфина по (39) в 2 раза меньше энергопроводности воды, а при передаче энергии от тела с меньшей

энергопроводностью телу с большей энергопроводностью на границе тел всегда возникает отрицательный градиент давления.

7. Энергетическая эффективность движения судов с уменьшенной энергопроводностью корпуса

Высокая энергетическая эффективность движения дельфина обеспечивается не только за счет нейтрализации лобового сопротивления из-за меньшей энергопроводности его тела по (39), но и за счет снижения силы сопротивления трения. По исследования Макса Крамера [3], созданный им резиноподобный материал «ламинфло», хорошо имитирующий эластичную кожу дельфина, при испытании модели покрытой этим материалом, снижает на 50% сопротивление трения. То есть, дает такой же эффект, как если бы движение осуществлялось без материала «ламинфло», но в жидкости с коэффициентом кинематической вязкости $\nu_{\text{эф}}$ в 2 раза меньшей от природного коэффициента вязкости ν , т.е

$$\nu_{\text{эф}} = \frac{\nu}{2}; \quad (40)$$

Для судна с измененной упругостью корпуса по (29) и со смоченной поверхностью корпуса, покрытой материалом «ламинфло», требуемая мощность на гребном винте для той же скорости хода v , следуя (17) записывается в виде

$$N_{\text{эф}} = \frac{2Mv^2 \sin^{1.5} \alpha}{RT_{\text{эф}} \sqrt{\frac{a}{\nu_{\text{эф}} l_{\text{ц}}}}}; \quad (41)$$

Отношение (17) к (41) показывает степень перерасхода энергии современными судами по сравнению с судами, использующими технику движения дельфинов.

После сокращений, получаем

$$\frac{N}{N_{\text{эф}}} = \frac{T_{\text{эф}}}{T} \sqrt{\frac{\nu}{\nu_{\text{эф}}}}; \quad (42)$$

Подставляя в (42) $T_{эф} = \frac{2l_y}{a}$ по (30) и $T = \frac{l_y}{c}$ по (1) и $v_{эф} = \frac{v}{2}$ по (40),

после сокращений соотношение (42) принимает вид

$$\frac{N}{N_{эф}} = \frac{2c}{a} \sqrt{2} = \frac{2 \cdot 5100}{1435} \sqrt{2} = 10; \quad (43)$$

То есть современные суда на свое движение затрачивают по (43) в 10 раз больше энергии, чем если бы они в движении использованы полностью технику движения дельфинов.

По исследования Джеймса Грея запас мышечной энергии у дельфинов составляет лишь 10 процентов от расчетной по законам гидромеханики энергии, необходимой, чтобы двигаться с наблюдаемой скоростью, что следует и из (43)

$$\frac{N_{эф}}{N} = 0.1 \times 100\% = 10\%; \quad (44)$$

Абсолютная энергетическая эффективность движения в жидкости с использованием полностью техники движения дельфинов такова, что на свое движение с современной скоростью хода достаточно использовать лишь 10 процентов от современной мощности энергетических установок судов.

Непрактичность и неприемлемость резиноподобного материала «ламинфло» в качестве покрытия обшивки корпуса судов не позволяет серьезно рассматривать достижение на практике абсолютной эффективности движения по (43), пока не будет предложен более простой в изготовлении материал, чем «ламинфло».

Практическая эффективность движения судов только за счет нейтрализации лобового сопротивления без специального покрытия обшивки корпуса по (43) принимает вид

$$\frac{N}{N_{эф}} = \frac{2c}{a} = 7.1 \text{ раз}; \quad (45)$$

То есть, современная скорость хода судов, при нейтрализации лобового сопротивления, может обеспечиваться в 7.1 раза меньшей мощностью энергетической установки судна, чем современная мощность.

При полном же использовании современной мощности судов их скорость хода $v_{эф}$, следуя (18) может увеличиться за счет уменьшения жесткости корпуса в 2.67 раза

$$\frac{v_{эф}}{v} = \sqrt{\frac{T_{эф}}{T}} = \sqrt{\frac{2c}{a}} = \sqrt{\frac{25100}{1435}} = 2.67 \text{ раза} \quad (46)$$

8. Технология уменьшения жесткости корпуса реальных судов до эффективной

Для осуществления на практике у реального судна энергопроводности по (29), а эффективного времени импульса $T_{эф}$ по (30), достаточно, как рекомендует изобретение, [4], носовую часть корпуса отделить от цилиндрической, удерживая ее на консолях, и соединить носовую часть с цилиндрической отдельными стальными стержнями.

Таким образом, между носовой частью корпуса и его цилиндрической частью устанавливается упругая вставка из отдельных стержней, суммарная жесткость которой должна следовать выражению

$$k_{эф} = \frac{M}{T_{эф}^2}; \quad (47)$$

При ударном приложении движущей силы F , ударом мгновенно оказывается охвачен весь корпус судна, так как ударное возмущение распространяется со скоростью света по плотно прилегающим электронным оболочкам молекул корпуса.

С момента приложения силы F вся цилиндрическая часть корпуса одновременно смещается со скоростью $\Delta v_{эф} = GT_{эф}$, сжимая стержни упругой вставки, т.к. ее жесткость в 50.5 раз меньше жесткости корпуса судна.

За время $T_{эф}$ цилиндрическая часть корпуса сместится на расстояние $\Delta l_{эф}$, на которое сожмется упругая вставка

$$\Delta l_{эф} = GT_{эф}^2; \quad (48)$$

К концу времени $T_{эф}$ судно под действием импульса движущей силы приобретает приращение кинетической энергии поступательного движения

$\Delta E = \frac{M\Delta v_{эф}^2}{2}$ и запас потенциальной энергии упругого сжатия,

сосредоточенной в упругой вставке $\Delta \Pi = \frac{M\Delta v_{эф}^2}{2}$.

С момента начала следующего импульса движущей силы F , ее удар осуществляется уже по движущемуся со скоростью $\Delta v_{эф}$ судну и высвободившейся потенциальной энергии в упругой вставке при ударе носовой части по встречной жидкости. К концу времени этого импульса судно приобретает скорость поступательного движения $2\Delta v_{эф}$, а его носовая часть совершает второй удар по встречной жидкости.

Расчет упругой вставки, при ее жесткости по (47) и принятом числе стержней и их длине, осуществляется с использованием закона Гука, пример в [3]. Так для сухогруза «Волго-Дон» с его параметрами в табл.1, приняв в упругой вставке 6 стержней длиной каждого по 8.0 м, расчетный диаметр стержней определился равным

$$d = 46.0 \text{ мм}; \quad (49)$$

Принятая конструкция упругой вставки обеспечивает сухогрузу «Волго-Дон»:

1. Продолжительность импульса движущей силы по (30)

$$T_{эф} = \frac{2 \cdot 117}{1435} = 0.163 \text{ с}; \quad (50)$$

2. Скорость хода по (18)

$$v_{эф} = \sqrt{\frac{1324.8}{6755} \cdot 7503.8 \cdot 0.163} = 15.5 \text{ м/с (55.8 км/ч)} \quad (51)$$

3. Силу полного сопротивления движению сухогруза по формуле (22)

$$F_{эф} = \sin^3 42^\circ \cdot 7503.8 \cdot 1.1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2 \cdot 15.5}{2.46} \cdot 23.5 \cdot 117 = 85.68 \text{ кН} \quad (52)$$

4. Потребляемая мощность на гребном винте

$$N_{эф} = F_{эф} \cdot v_{эф} = 85.68 \cdot 15.5 = 1328.06 \text{ кВт}; \quad (53)$$

5. Установленная мощность двигателей

$$P_{\rho} = \frac{N_{эф}}{\eta} = \frac{1328.06}{0.9} = 1475.6 \text{ кВт (2005 л.с.)} \quad (54)$$

где $\eta = 0.9$ – коэффициент, учитывающий потери энергии в редукторе и валопроводе;

6. Погрешность расчета при действительной установленной мощности двигателей на сухогрузе «Волго-Дон» $P=2000$ л.с., см.табл.1

$$\Delta = \frac{P_p - P}{P} 100\% = \frac{2005 - 2000}{2000} 100\% = +0.25\%; \quad (55)$$

Особенностью движения сухогруза «Волго-Дон» с уменьшенной жесткостью его корпуса является отсутствие образования судовых волн, обычно сопровождающих движение судов.

7. Амплитуда периодических отклонений носовой части судна при передаче потенциальной энергии упругого сжатия корпуса встречной жидкости

$$a = GT_{эф}^2 = \frac{F_{эф}}{M} T_{эф}^2 = \frac{85.68}{6755} 0.163^2 = 0.34 \text{ мм}; \quad (56)$$

ВЫВОДЫ

1. Из-за ударно-дискретного действия движущей силы F , упора гребного винта на корпус судна, энергия от двигателей передается на корпус судна отдельными порциями, половина каждой из которых переходит в приращение кинетической энергии движения судна, а вторая равна ей половина переходит в потенциальную энергию упругого сжатия корпуса.

На участке ускоренного движения до скорости хода равномерного движения, половина всей энергии от двигателей переходит в кинетическую энергию движения судна со скоростью $v = n_o \Delta v$, где n_o - число импульсов движущей силы за все время разгона судна, а вторая половина всей энергии передается встречной жидкости отдельными порциями потенциальной энергии упругого сжатия, то есть $\Pi = n_o \Delta \Pi$.

Из-за большей энергопроводности корпуса судна ($c=5100\text{м/с}$) от энергопроводности воды ($a=1435\text{м/с}$) перед носовой поверхностью судна устанавливается положительный градиент гидродинамического давления, величина которого проявляется высотой волны подпора Δh перед носовой

поверхностью судна, определяющей величину силы лобового сопротивления движению судна.

С переходом в равномерный режим начинается переток жидкости под напором Δh из волны подпора в обход корпуса, формируя собой судовые волны.

2. Секрет «парадокса Грея» заключается в два раза меньшей энергопроводности тела дельфина ($c_d=707$ м/с) от энергопроводности воды ($a=1435$ м/с), что объясняет возникновение на границе носовой поверхности и встречной жидкости отрицательного градиента гидродинамического давления, объясняет отсутствие лобового сопротивления движению дельфина.

3. Для овладения техникой движения дельфинов на реальных судах между носовой частью корпуса и его цилиндрической частью следует устанавливать упругую вставку, жесткость которой была бы в 50.5 раз меньше жесткости корпуса судна, см [4], этим энергопроводность стального корпуса судна снижается в 7.10 раза до энергопроводности тела дельфина ($c=\frac{a}{2}=717.5$ м/с).

4. Единственным недостатком движения судов с меньшей энергопроводностью корпуса является то, что требуется в 7.1 раза большее время на разгон судна из состояния покоя до скорости хода v равномерного движения.

Так сухогруз «Волго-Дон» разгоняется до крейсерской скорости $v = 5.83$ м/с за время $t=n_o T=7503.8 \cdot 0.023=2.9$ мин, а при уменьшенной энергопроводности корпуса этот сухогруз разгоняется до эффективной скорости хода $v_{\text{эф}}=15.5$ м/с за время $t=n_o T_{\text{эф}}=7503.8 \cdot 0.163=20.5$ мин

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Дзюба. Повышение энергетической эффективности современного судоходства или новый тип водоизмещающих судов. 62с. Деп.рук.ВИНИТИ №1150-В2006. См.сайт www.newhydraulics.ru/

2. А.Дзюба. Физическая природа скорости хода реальных судов и известных способов ее повышения. 12с. 2013г. см. сайт www.newhydraulics.ru/.
3. А.Дзюба. Технология 2-кратного увеличения скорости хода тихоходных судов (сухогрузов, танкеров, супертанкеров). 35 с. 2010г. См. сайт www.newhydraulics.ru/.
4. А.Дзюба. Устройство для увеличения скорости хода судна. Описание изобретения. Патент №2397101. 2009г. См. сайт www.newhydraulics.ru/.

Автор  А.Ф.Дзюба

17 мая 2016г

г.Новочеркасск