

УДК 629.123.4

**А.Ф. Дзюба**

**РАСЧЕТ ХОДКОСТИ ГРУЗОВЫХ И БЫСТРОХОДНЫХ СУДОВ  
И УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ХОДА ГРУЗОВЫХ СУДОВ  
ДО ХОДКОСТИ ДЕЛЬФИНОВ**

Новочеркасск

2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
§1. Сопротивление силы вязкого трения, как следствие роста вязкости жидкости.....	3
§2. Три режима обтекания корпуса по числу Фруда.....	6
§3. Число Фруда и скорость звука в набегающем потоке жидкости.....	8
§4. Порядок расчета ходкости судов.....	9
§5. Проверка достоверности новой концепции сопротивления судов.....	12
§6. Предпосылки увеличения ходкости судов до природной ходкости дельфинов.....	14
Литература.....	17

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Работа является результатом теоретических исследований движения тел в жидкой среде, впервые основанных на первичных законах физики.

В основу положена рукопись [1], переосмысленная и доработанная по замечаниям специалистов ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, за что выражаю им свою глубочайшую признательность.

Автор

### **§1. Сопротивление силы вязкого трения, как следствие роста вязкости жидкости.**

Высокая степень совпадения значений мощности судов, рассчитанных по формулам физической гидродинамики [1], с паспортными данными мощности реальных судов-сухогрузов, дает основание коренному пересмотру сложившейся эмпирической концепции гидродинамического сопротивления судов.

Сущность предлагаемого нового физического свойства жидкости заключается в следующем.

Вязкость жидкости вдоль смоченной поверхности движущегося в ней тела возрастает во времени пропорционально и вместе с ростом градиента скорости на смоченной поверхности тела.

Согласно второму закону Ньютона, ускорение, действующее на судно при выведении его из состояния покоя в движение, выражается формулой:

$$G = \frac{F}{M}; \quad (1)$$

где,  $F$  – движущая сила, Н;

$M$  – масса судна, кг;

Масса судна определяется массой объема воды, вытесненной судном при его погружении в водоем для наводного движения в нем.

$$M = \rho V; \quad (2)$$

$\rho$  – плотность воды,  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$V$  – водоизмещение судна,  $\text{м}^3$ ;

В расчетах масса судна по (2) приводится к массе простейшего цилиндрического тела в виде

$$M = \rho \omega l_y; \quad (3)$$

$\omega$  – площадь миделевого сечения корпуса судна,  $\text{м}^2$ ;

$l_y$  – приведенная длина судна в метрах, определяемая формулой

$$l_y = \frac{V}{\omega}; \quad (4)$$

По аналогии с (1) по Ньютону для ускорения, в механику следует ввести понятие замедления, вызываемого вязкостью жидкой среды у тела в движении; выражается зависимостью

$$G_\mu = \frac{\mu}{T}; \quad (5)$$

где,  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости, для воды

$$\mu = 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}} \text{ при } t = 16 \text{ }^\circ\text{C};$$

$T$  – время оседлости судна, определяемое формулой:

$$T = \frac{l_y}{c}; \quad (6)$$

где,  $c$  – скорость распространения деформации сжатия по корпусу судна, скорость звука по материалу корпуса, для стали равна  $5100 \text{ м/с}$ ;

Время оседлости  $T$  означает, что судно невозможно вывести из состояния покоя в движение быстрее, чем его время оседлости, как бы ни велика была действующая на него движущая сила.

Вязкость жидкости, при заданной скорости хода судна, увеличивается во

времени до значения, характеризуемого коэффициентом турбулентной вязкости вида

$$\mu_T = G_\mu t; \quad (7)$$

где  $G_\mu$  – замедление судна по (5),  $\frac{K\mathcal{E}}{M\mathcal{C}^2}$ ;

$t$  – время, за которое судно разгоняется из состояния покоя до заданной скорости равномерного движения, определяется формулой

$$t = n_0 T; \quad (8)$$

где  $n_0$  – разгонное число;

Коэффициент турбулентной вязкости по (7), после подстановки в него замедления по (5) и времени по (8), после сокращений, приводится к виду

$$\mu_T = n_0 \mu; \quad (9)$$

То есть, сопротивление вязкого трения, по (9), с началом движения судна растет во времени так же, как и скорость хода судна, пропорционально разгонному числу  $n_0$ ,

$$v = n_0 \Delta v; \quad (10)$$

где  $\Delta v$  – приращение скорости хода судна за один импульс движущей силы, определяемого временем оседлости  $T$ , м/с;

$$\Delta v = GT; \quad (11)$$

Как следует из [1], разгонное число  $n_0$  зависит только от конструктивных размеров корпуса судна и коэффициента динамической вязкости воды, что выражается формулой

$$n_0 = \frac{1}{\sin^{1.5} \alpha} \frac{R}{2} \sqrt{\frac{\rho a_0}{\mu l_u}}; \quad (12)$$

где,  $a_0$  – скорость распространения деформации упругого сжатия жидкости, как упругой среды, при набегании на нее носовой поверхности судна, м/с;

$\alpha$  – угол атаки встречной жидкости носовой поверхностью судна, град.;

Угол атаки определяется формулой

$$\alpha = \arcsin \frac{\omega}{\Omega}; \quad (13)$$

где,  $\omega$  – площадь миделевого сечения корпуса,  $m^2$ ;

$\Omega$  – площадь поверхности носовой части корпуса,  $m^2$ ;

Гидравлический радиус в (12) определяется формулой

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (14)$$

где  $\chi$  – смоченный периметр миделевого сечения корпуса,  $m$ ;

Для реальных судов, как показано в [1], сложившаяся на практике форма обводов носовой поверхности, у всех сухогрузов водоизмещением 2000 – 7000  $m^3$ , гидродинамически подобна по соотношению площади миделевого сечения к площади носовой поверхности, характеризуясь  $\sin \alpha = 0.67$ , что соответствует углу атаки  $\alpha = 42.0^\circ$ .

## §2. Три режима обтекания судов по числу Фруда.

При расчете ходкости судов, определении необходимой буксировочной мощности при заданной скорости хода, режим обтекания корпуса судна жидкостью следует разделять по числу Фруда на три вида:

- спокойное обтекание

$$Fr \leq 1.0; \quad (15)$$

- бурное обтекание

$$1.0 \leq Fr \leq 10.0; \quad (16)$$

- сверхбурное обтекание

$$Fr > 10.0; \quad (17)$$

Под числом Фруда понимается энергетическая его сущность, как отношение кинетической энергии внутреннего давления, заключенной в

единице длины набегающего на корпус судна потока жидкости, к потенциальной энергии давления силы тяжести, заключенной в этом же объеме потока

$$Fr = \frac{\rho v^2 \omega l_m}{\rho g \omega H l_m}; \quad (18)$$

После сокращений в (18), формула числа Фруда для судов принимает известный в гидравлике вид

$$Fr = \frac{v^2}{gH}; \quad (19)$$

где,  $H$  – глубина набегающего потока, осадка в грузу судна в миделевом сечении,  $m$ ;

Число Фруда равное десяти,  $Fr = 10.0$ , при переходе обтекания корпуса в сверхбурное обтекание, означает, что кинетическая энергия внутреннего давления в набегающем потоке возросла настолько, что стала равной потенциальной энергии внутреннего атмосферного давления в жидкости. Сказанное выражается формулой

$$Fr = \frac{\rho v^2 \omega l_m}{10 \rho g \omega l_m} = 1.0; \quad (20)$$

Энергия внутреннего атмосферного давления в объеме жидкости пропорциональна его объему, то есть  $E_a = P_a \omega l_m$ , где  $P_a = 98100 \frac{Hm}{m^3}$  – атмосферное давление, по сути, это энергия теплового движения молекул воды, заключенная в единице объема. Известная в физике, [2] §28, связь потенциальной энергии и силы, позволила выразить потенциальную энергию внутреннего атмосферного давления в жидкости в виде знаменателя в формуле (20).

После сокращений в (20), число Фруда, как отношение кинетической энергии давления к потенциальной энергии внутреннего атмосферного давления в потоке жидкости приводится к виду

$$Fr = \frac{v^2}{10gH} = 1.0; \quad (21)$$

Число Фруда, как отношение кинетической энергии внутреннего давления в потоке к потенциальной энергии давления силы тяжести по значению в десять раз больше:

$$Fr = \frac{v^2}{gH} = 10.0; \quad (22)$$

### §3. Число Фруда и скорость звука в набегающем потоке жидкости.

От состояния по числу Фруда набегающего на судно потока жидкости зависит величина скорости распространения деформации сжатия по жидкости от носовой поверхности, скорость звука  $a_0$  в формуле (12) разгонного числа:

- для режима спокойного обтекания, когда  $Fr \leq 1.0$ , скорость распространения деформации сжатия равна скорости звука в воде:

$$a_0 = a = 1435 \text{ м/с}; \quad (23)$$

Первая критическая скорость хода судна, при которой еще сохраняется его спокойное обтекание и с которой начинается переход в бурное обтекание, определяется формулой

$$v_{1,кр} = \sqrt{gH}; \quad (24)$$

- для бурного обтекания корпуса, когда  $1.0 \leq Fr \leq 10.0$ , скорость  $a_0$  в формуле (12) разгонного числа определяется формулой

$$a_0 = v_{2,кр} + (a - v_{2,кр}) \left(1 - \frac{Fr}{10}\right); \quad (25)$$

где,  $a$  – скорость звука в воде, равна 1435 м/с;

$v_{2,кр}$  – вторая критическая скорость хода судна, определяется формулой

$$v_{2,кр} = \sqrt{10gH}; \quad (26)$$



$Fr$  – действующее число Фруда по (19) для заданной скорости хода судна;

- для сверхбурного обтекания корпуса, когда  $Fr > 10.0$ , скорость  $a_0$  распространения деформации сжатия по встречной жидкости от носовой поверхности равна непосредственно самой скорости хода судна:

$$a_0 = v; \quad (27)$$

В связи с соотношением (27), а также из-за увеличенной в два раза внутренней энергии молекул воды, нагнетаемых во встречную жидкость ударами по ней носовой поверхности, формула разгонного числа  $n_0$ , выводимая из уравнения (13) в [1], приобретает вид

$$n_0 = \frac{1}{\sin^{1.5} \alpha} R \sqrt{\frac{\rho v}{2\mu l_y}}; \quad (28)$$

#### §4. Порядок расчета ходкости судов.

Покажем на примере порядок расчета необходимой мощности энергетической установки судна при заданных его размерах и крейсерской скорости хода.

Запроектировать пассажирский теплоход с параметрами:

1.  $V = 2500 \text{ м}^3$  – водоизмещение;
2.  $B = 12.5 \text{ м}$  – ширина корпуса по мидель-шпангоуту;
3.  $H = 2.5 \text{ м}$  – осадка корпуса по мидель-шпангоуту;
4.  $\alpha = 40^\circ$  – угол атаки;
5.  $v = 24 \text{ км/ч}$  ( $6.67 \text{ м/с}$ ) – крейсерская скорость хода теплохода;

Определить:

1. Буксировочную мощность теплохода и установленную мощность двигателей на нем, приняв коэффициент использования мощности

$$\eta = 0.9, N \text{ и } N_{уст}, \text{ кВт/л.с.}$$

2. Движущую силу  $F$  и составляющие ее силу трения  $F_{тр}$  и силу лобового сопротивления  $F_{лоб}$ , кН;

Расчет.

1. Площадь миделевого сечения,

$$\omega = B \cdot H = 12.5 \cdot 2.5 = 31.25 \text{ м}^2;$$

2. Смоченный периметр,

$$\chi = B + 2H = 12.5 + 2 \cdot 2.5 = 17.50 \text{ м};$$

3. Гидравлический радиус,

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{31.25}{17.50} = 1.79 \text{ м};$$

4. Приведенная длина корпуса,

$$l_y = \frac{V}{\omega} = \frac{2500}{31.25} = 80.0 \text{ м};$$

5. Время оседлости, по (6),

$$T = \frac{l_y}{c} = \frac{80}{5100} = 0.0157 \text{ с};$$

6. Число Фруда, по (19),

$$Fr = \frac{v^2}{gH} = \frac{6.67^2}{9.81 \cdot 2.5} = 1.814;$$

Обтекание корпуса бурное,  $1.0 < Fr < 10.0$ ;

7. Вторая критическая скорость, по (26),

$$v_{2,кр} = \sqrt{10 \cdot 9.81 \cdot 2.5} = 15.66 \text{ м/с};$$

8. Скорость звука по встречной жидкости, по (25),

$$a_0 = 15.66 + (1435 - 15.66) \left(1.0 - \frac{1.814}{10}\right) = 1177.53 \text{ м/с};$$

9. Разгонное число, по (12),

$$n_0 = \frac{1}{\sin^{1.5} 40^\circ} \frac{1.79}{2} \sqrt{\frac{1000 \cdot 1177.53}{1.1 \cdot 10^{-3} \cdot 80.0}} = 6352.80;$$

10. Приращение скорости хода судна за один импульс движущей силы,

$$\Delta v = \frac{v}{n_0} = \frac{6.67}{6352.8} = 1.05 \cdot 10^{-3} \text{ м/с};$$

11. Ускорение судна,

$$G = \frac{\Delta v}{T} = \frac{1.05 \cdot 10^{-3}}{0.0157} = 0.067 \text{ м/с}^2;$$

12. Движущая сила,

$$F = MG = 2500 \cdot 0.067 = 167.5 \text{ кН};$$

13. Буксировочная мощность,

$$N = Fv = 167.5 \cdot 6.67 = 1117.23 \text{ кВт (1518 л.с.)}$$

14. Установленная мощность двигателей,

$$N_{уст} = \frac{N}{\eta} = \frac{1117.23}{0.9} = 1241.3 \text{ кВт (1687 л.с.)}$$

15. Сила сопротивления трения, по (22) в [1],

$$F_{тр} = \sin^3 \alpha n_0 \mu \frac{2v}{R} \chi l_{ц} = 0.266 \cdot 6352.8 \cdot 1.1 \cdot 10^{-3} \frac{2 \cdot 6.67}{1.79} \cdot 17.5 \cdot 80 = 19.4 \text{ кН};$$

16. Сила лобового сопротивления, по (28) в [1],

$$F_{лоб} = F \left(1 - \frac{a_0}{2c}\right) = 167.5 \left(1 - \frac{1177.53}{2 \cdot 5100}\right) = 148.2 \text{ кН};$$

17. Погрешность расчета, %

$$\Delta = \left(\frac{F_{тр} + F_{лоб}}{F} - 1\right) \cdot 100 = \left(\frac{19.4 + 148.20}{167.5} - 1\right) \cdot 100 = 0.06 \%;$$

Из расчета видно, что при движении в жидкой среде преобладающим является лобовое сопротивление, и с приближением к критическому числу Фруда,  $Fr = 10.0$ , эта часть сопротивления является основной и составляет порядка 97% всего сопротивления. Поэтому все коммерческие грузовые суда и танкеры, как правило, запроектированы в зоне спокойного обтекания корпуса, с числом Фруда, приближающимся к его первому критическому значению,  $Fr < 1.0$ , не более значений 0.8–0.95. Пассажирские же суда проектируются

лишь в начале зоны бурного обтекания с числами Фруда не более 2.0–2.5.

### §5. Проверка достоверности новой концепции сопротивления судов.

Осуществлялась на реальных судах. При известных водоизмещении и скорости хода судов, определялась расчетом по формулам физической гидродинамики необходимая буксировочная мощность для этих судов. Полученная расчетная буксировочная мощность сравнивалась по [5] с паспортной, действительной буксировочной мощностью действующих судов. Расчеты сведены в таблицу.

Таблица

Показатели	Наименования судов				
	Танкер «Волго- нефть» ОГК, 558	Теплоход «Родина» ЦТКБ, 588	Теплоход «Байкал» ЦТКБ, 646	Катер, РФ «Светляк» Пр. 10412	Катер ФРГ «Гепард» Пр. 143 А
1	2	3	4	5	6
<b><u>Исходные данные</u></b>					
1. Водоизмещение $V$ , $m^3$	6400	1548	668	365	391
2. Ширина по миделю $B$ , $m$	16.50	12.0	9.40	9.2	7.80
3. Осадка по миделю $H$ , $m$	3.52	2.40	2.19	2.40	2.60
4. Мощность установки $N_{уст}$ , $\frac{л.с.}{кВт}$	$\frac{2000}{1472}$	$\frac{1200}{883.2}$	$\frac{800}{588.8}$	$\frac{14280}{10510}$	$\frac{13195}{9711.52}$
5. Скорость хода $v$ , $\frac{км/ч}{м/с}$	$\frac{19.5}{5.42}$	$\frac{25.0}{6.94}$	$\frac{22.50}{6.25}$	$\frac{30 \text{ узлов}}{15.42}$	$\frac{40 \text{ узлов}}{20.56}$
<b><u>Результаты расчета</u></b>					
6. Масса судна $M = \rho V$ , $t$	6400	1548	668	365	391
7. К.п.д. установки, $\eta$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
8. Буксировочная мощность $N = \eta N_{уст}$ , $кВт$	1324.8	794.88	529.92	9459	8739.9
9. Угол атаки $\alpha$ , $град.$	45	35	40	30	20
10. Число Фруда, $Fr = \frac{v^2}{gH}$	0.85	2.05	1.818	10.1	16.57

11. Характер обтекания	Спокойное	Бурное	Бурное	Сверхбурное	Сверхбурное
12. Площадь по миделю, $m^2$ $\omega = B \cdot H$	58.08	28.80	20.30	22.08	20.28
13. Смоченный периметр, $m$ $\chi = B + 2 \cdot H$	23.54	16.80	13.78	14.00	13.00
14. Гидравлический радиус, $m$ $R = \frac{\omega}{\chi}$	2.47	1.71	1.47	1.58	1.56
15. Приведенная длина, $m$ $l_y = \frac{V}{\omega}$	110.20	53.75	32.90	16.53	19.28
16. Время оседлости, $c$ $T = \frac{l_y}{c}$ ;	0.0216	0.01054	$6.45 \cdot 10^{-3}$	$3.24 \cdot 10^{-3}$	$3.78 \cdot 10^{-3}$
17. Вторая критическая скорость, $m/c$ $v_{2,кр} = \sqrt{10gH}$	–	15.34	14.66	–	–
18. Скорость деформации $m/c$ $a_0$ по (25)	1435	1143.97	1176.78	15.42	20.56
19. Разгонное число $n_0$ по (12)	7146.25	8657.5	8130.97	2910.0	5430.0
20. Приращение скорости, $m/c$ $\Delta v = \frac{v}{n_0}$ ;	$7.58 \cdot 10^{-4}$	$8.02 \cdot 10^{-4}$	$7.69 \cdot 10^{-4}$	$5.3 \cdot 10^{-3}$	$3.79 \cdot 10^{-3}$
21. Ускорение судна, $m/c^2$ $G = \frac{\Delta v}{T}$ ;	0.035	0.0176	0.119	1.644	1.0
22. Движущая сила, $kH$ $F = MG$ ;	224.72	117.33	79.60	600.03	391.66
23. Буксировочная мощн., $kВт$ $N_p = Fv$ ;	1218.0	817.06	497.55	9252.47	8052.6
24. Погрешность расчета, % $\Delta = \frac{N_p - N}{N} \cdot 100$ ;	–8.06	+2.79	–6.10	–2.2	–7.9
25. Расчетная скорость хода, $m/c$ по (18) из [1]; $v_p = \sqrt{\frac{N_p}{M} n_0 T}$	5.42	6.94	6.25	15.46	20.59
26. Погрешность в сравнении со скоростью по п.5, %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## **§6. Предпосылки увеличения ходкости судов до природной ходкости дельфинов.**

*Мы не можем довольствоваться совершенным познанием физической сущности законов природы. Создание новой, высоко рентабельной транспортной техники – наша задача.*

Автор

Низкая, на грани убыточности, рентабельность судов современного водного транспорта, когда стоимость затраченного топлива при транспортировке полезного груза, из-за большого расхода топлива, соизмерима со стоимостью транспортных услуг, является причиной всех бед, сопровождающих эту отрасль экономики, основные из которых – банкротство компаний, дотирование отрасли для поддержания ее производственной состоятельности, гибель судов из-за их перегруза ради рентабельности и т.п.

Между тем, еще в 30-х годах прошлого века, английский исследователь Джеймс Грей установил [3], что дельфины на свое движение затрачивают в десять раз меньше энергии, чем им требуется по законам гидродинамики. Этим Джеймс Грей впервые показал, что плавсредства, создаваемые человеком, энергетически не совершенны, так как на свое движение в воде затрачивают в 10 раз больше энергии, чем природные обитатели водной среды, дельфины.

Существенного результата в раскрытии секрета высокой ходкости дельфинов достиг известный исследователь Макс Крамер, [4] Гл.5, создавший резиноподобный мягкий материал «ламинфло», эластичная поверхность которого хорошо имитирует кожу дельфина. Результат испытаний модели, покрытой материалом «ламинфло», свидетельствовал об уменьшении величины сопротивления трения в 2 раза.

Полное объяснение причина высокой эффективности движения дельфинов получила в физической гидродинамике судов [1], §§5–8, где

раскрыта не только физическая сущность явления, но и описано устройство по увеличению ходкости судов за счет нейтрализации лобового сопротивления. Мировая новизна изобретения подтверждена экспертизой Роспатента с выдачей Патента РФ №2397101.

Исследования Джеймса Грея наконец получили в [1] аналитическое подтверждение, которое приводится ниже.

Буксировочная мощность судна в развернутом виде выражается формулой (17) в [1]

$$N = \frac{2Mv^2 \sin^{1.5} \alpha}{RT \sqrt{vl_u}}; \quad (29)$$

Буксировочная мощность того же судна, но оборудованного устройством по нейтрализации лобового сопротивления и устройством Крамера по снижению в 2 раза сопротивления трения, назовем ее эффективной буксировочной мощностью,  $N_{эф}$ , выражается формулой

$$N_{эф} = \frac{2Mv^2 \sin^{1.5} \alpha}{RT_{эф} \sqrt{v_{эф} l_u}}; \quad (30)$$

Отношение (29) к (30) показывает во сколько раз потребляемая энергия на движение, при равной скорости хода судов, у современного суда без мероприятий по снижению сопротивления больше, чем у судна с мероприятиями. После сокращений это отношение принимает вид

$$\frac{N}{N_{эф}} = \frac{T_{эф}}{T} \sqrt{\frac{v}{v_{эф}}}; \quad (31)$$

где,  $T_{эф}$  – эффективное время оседлости судна, обеспечивается за счет изменения упругих свойств корпуса, путем установки в нем упругой вставки, обеспечивающей время полного сжатия корпуса движущей силой за время (30) в [1];

$$T_{эф} = \frac{2l_u}{a}; \quad (32)$$

$T$  – время оседлости современного судна по (6)

$$T = \frac{l_y}{c}; \quad (33)$$

$\nu_{эф}$  – эффективный коэффициент кинематической вязкости воды. Материал «ламинфло» в опытах Крамера показал снижение на 50% сопротивления трения. То есть, дает такой же эффект, как если бы движение осуществлялось без материала «ламинфло», но в жидкости с коэффициентом кинематической вязкости в 2 раза меньшим от природного коэффициента, следовательно

$$\nu_{эф} = \frac{\nu}{2}; \quad (34)$$

После подстановки в (31)  $T_{эф}$ ,  $T$ ,  $\nu_{эф}$  и сокращений, получаем

$$\frac{N}{N_{эф}} = \frac{2c}{a} \sqrt{2}; \quad (35)$$

Учитывая в (35), что  $c = 5100 \text{ м/с}$ ,  $a = 1435 \text{ м/с}$ , скорость звука соответственно по стали и воде, окончательно получаем, что потребляемая мощность современного судна без мероприятий по снижению сопротивления в 10 раз больше, чем с мероприятиями.

$$\frac{N}{N_{эф}} = 10.0; \quad (36)$$

Этим дается подтверждение физической достоверности результатов исследования Джеймса Грея, которые периодически подвергаются сомнению некоторыми авторами.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Дзюба А.Ф. Физическая гидродинамика судов и нейтрализация у них в движении лобового сопротивления. 21с. Новочеркасск, 2016. Сайт автора [www.newhydraulics.ru](http://www.newhydraulics.ru).
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1, М., Наука, 1970.
3. Нахтигаль В. «ВЕЛЬТВОХЕ». Цюрих. «Когда инженеры учатся у природы». «За рубежом» № 52. М., 1979.
4. Томас К. Гилмер. Проектирование современного корабля. Судостроение. Л., 1984.
5. Вицинский В.В., Страхов А.П. Основы проектирования судов внутреннего плавания. Л., 1990.

10 мая 2019 г.

Новочеркасск