

ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТА ОБЩЕЙ ПОЛНОТЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО СУДНА С УЧЕТОМ РАЙОНА И УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ

О. И. Соломенцев, д-р техн. наук, проф. НУК;

Ли Тхань Бин, асп.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Рассмотрен предварительный выбор коэффициента общей полноты проектируемого судна с учетом влияния этого коэффициента на ходовые качества судна в условиях волнения. Приведены рекомендации в части выбора расчетных характеристик волнения.

Ключевые слова: коэффициент общей полноты, ходкость судна, влияние волнения на ходкость судна.

Анотація. Розглянуто попередній вибір коефіцієнта загальної повноти судна, що проектується, з урахуванням впливу цього коефіцієнта на ходові якості судна в умовах хвилювання. Наведені рекомендації щодо вибору розрахункових характеристик хвилювання.

Ключові слова: коефіцієнт загальної повноти, ходовість судна, вплив хвилювання на ходовість судна.

Abstract. The preliminary selection of the general fullness coefficient of a designed ship has been performed considering the impact of this coefficient on ship performance in rough water conditions. Recommendations for determination of rough water characteristics are given.

Keywords: general fullness coefficient, ship performance, rough water impact on the ship performance.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Предварительное, предшествующее оптимизации элементов проектируемого судна, определение его основных элементов является важной прикладной задачей. Для тихоходных судов, к которым, в частности, относятся грузовые судна ограниченного района плавания (диапазон чисел Фруда $Fr = 0,16...0,21$), одной из важнейших характеристик, определяющих ходовые качества судна, является коэффициент общей полноты δ . Обычно эта величина определяется на основе приближенного компромисса между грузоподъемностью и ходкостью. Предполагается, что коэффициент общей полноты должен быть максимально возможным, но при этом таким, чтобы при принятом его значении не наступало резкого обвального ухудшения характеристик ходкости. Практическая реализация указанного условия на начальных стадиях проектирования судна, предшествующих оптимизации его элементов, выполняется на основе метода критических точек. Этот метод был предложен Ван-Ламмереном и усовершенствован Л.М. Ногидом [3].

При этом отмеченное выше обвальное ухудшение характеристик ходкости при завышении коэффициента общей полноты связано в первую очередь с увеличением волнового сопротивления движению судна. Но при $Fr < 0,15...0,16$ волновое сопротивление отсутствует, а при $Fr < 0,17...0,18$ оно получается небольшим, составляя в общем балансе сопротивления воды движению судна небольшую долю. Сопротивление воды движению судна состоит в этих случаях практически из одного только вязкостного сопротивления. Однако влияние коэффициента общей полноты на вязкостное сопротивление намного меньше, чем на волновое. Поэтому на малых скоростях рост

коэффициента общей полноты сдерживается ростом сопротивления в незначительной степени. Это и привело в последние годы к появлению тихоходных судов смешанного плавания с очень высокими ($0,90...0,93$) коэффициентами общей полноты.

С таким подходом можно было бы согласиться, если бы при расчете сопротивления воды движению судна можно было учитывать только условия его движения на тихой воде. На самом же деле судно помимо сопротивления движению на тихой воде должно преодолевать дополнительное сопротивление в условиях волнения. Это сопротивление (как и волновое сопротивление на тихой воде) тоже быстро растет с ростом коэффициента общей полноты. Но, в отличие от волнового сопротивления на тихой воде, указанный рост имеет место при всех числах Фруда, в том числе и в указанных выше диапазонах.

Из сказанного следуют два важных вывода. Во-первых, поскольку всякое судно должно преодолевать дополнительное сопротивление в условиях волнения, а величина этого сопротивления зависит от коэффициента общей полноты δ , указанный фактор следует учитывать при назначении δ . Во-вторых, дополнительное сопротивление на волнении (и, соответственно, доля этого сопротивления в общем балансе сопротивления воды движению судна) зависит от интенсивности волнения. Конкретный способ учета интенсивности волнения для данной ситуации предстоит разработать. Но ясно, что коэффициент общей полноты в такой постановке – в отличие от всех ранее известных рекомендаций – получится зависящим от района и условий плавания проектируемого судна. Ведь чем мягче требования к району плавания, тем реже судно будет встречать интенсивное волнение и тем меньше будет доля дополнительного сопротивления на волнении в общем балансе сопротивления. Кроме того, для

судов смешанного плавания необходимо учитывать и относительные доли речных и морских отрезков пути (условия плавания). Так, указанные выше рекомендации в части принятия высоких коэффициентов общей полноты относятся к судам смешанного плавания Дунайского морского пароходства. Для этих судов участок пути по Дунаю и его притокам с весьма мягкими волновыми условиями значительно превышает намного более жесткий в этом отношении участок пути по Черному морю (от Измаила до Одессы или даже от Измаила до Керчи).

Таблица 1. Особенности навигации между портами Вьетнама

Участок пути	Протяженность участка, км		Относительные доли морского / речного участка, %
	морского	речного	
Хайфон–Хо-ши-мин, расстояние 1610 км	1480	130	92,0 / 8,0
Хайфон–Канто, расстояние 1800 км	1630	170	90,5 / 9,5

В связи с этим учет влияния района и условий плавания на коэффициент общей полноты (путем учета требований ходкости на волнении при назначении этого коэффициента) и представляет собой проблему, решаемую в данной статье.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Общие сведения по выбору коэффициента общей полноты проектируемого судна на основе метода критических точек содержатся в [3]. Рекомендации в части определения дополнительного сопротивления движению судна в условиях волнения содержатся в [2]. При этом следует учитывать, что при больших значениях коэффициента общей полноты, превышающих 0,8, методика [2] может давать заниженные результаты. В то же время аналогичный метод, отвечающий полным судам с коэффициентами общей полноты 0,8...0,9, предстоит разработать. Удобное для практического применения долгосрочное распределение высот волн 3%-й обеспеченности предложено в [1]. В то же время связь между коэффициентом общей полноты δ , с одной стороны, и районом и условиями плавания – с другой, через учет влияния дополнительного сопротивления на волнении на δ не рассмотрена ни в одной из известных нам работ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – разработка простых расчетных зависимостей для предварительного определения коэффициента общей полноты тихоходных и среднескоростных морских судов и судов смешанного плавания с учетом района и условий плавания.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Предварительное определение коэффициента общей полноты проектируемого судна с учетом района и условий плавания может выполняться по методу критических точек. При этом авторами статьи

Иначе должно обстоять дело для аналогичных вьетнамских судов. В табл. 1 приведены данные о расстояниях между вьетнамскими портами Хайфоном и Хо-ши-мином и Хайфоном и Канто, с разбивкой на морские и речные участки пути. Из таблицы следует, что в обоих случаях доля морского участка пути с жесткими погодными условиями на порядок превышает долю на речном участке пути. В этом состоит отличие вьетнамских судов ограниченного района плавания от судов такого же класса, которые эксплуатируются на Дунае и на Черном море.

предлагается несколько более общая интерпретация метода по сравнению с изложенной в работе [3].

Приведем описание метода критических точек в нашей интерпретации. Пусть $\bar{X}$, $\{\bar{X}\} = x_n$, $\forall n \in N$ есть N -мерный вектор главных элементов проектируемого судна; $\bar{G}$, $\{\bar{G}\} = g_i$, $\forall i \in I$ есть I -мерный вектор требований к проектируемому судну. В задаче оптимизации элементов судна вектор $\bar{G}$ имеет смысл вектора ограничений типов равенств и неравенств. Пусть, далее, величины

$$g_i(x_n), g_j(x_n), g_i, g_j \in \bar{G}, i, j \in I, x_n \in \bar{X}, n \in N$$

есть два требования к проектируемому судну, зависящие противоположным образом от компоненты x_n . От прочих компонент вектора $\bar{X}$ – величин $x_m \in \bar{X}$, $\forall m \in N, m \neq n$ – эти требования зависят в меньшей степени. Тогда эвристически (неформально) ставится такая задача: расчетное (близкое к оптимальному или оптимальное в том или ином смысле) значение $x_n = x_{np}$ должно быть таким, чтобы не возникало чрезмерного ухудшения по одному (i -му или j -му) качеству. Выбор такого i -го или j -го качества определяется тем, какая зависимость ($g_i(x_n)$ или $g_j(x_n)$) в большей степени нелинейна.

Пусть таковой является зависимость $g_i(x_n)$. Тогда в общем случае условие для определения искомой величины x_{np} будет

$$x_n = x_{np} : \frac{d}{d(x_n)} \left[\frac{g_i(x_n)}{x_n^{km}} \right]_{x_n=x_{np}} = 0, \quad (1)$$

где $k = 1$, если функция $g_i(x_n)$ монотонно возрастающая, и $k = -1$, если эта функция монотонно убывающая (для немонотонных функций $g_i(x_n)$ излагаемый метод неприменим), а определение параметра m рассмотрим ниже.

Это классический прием определения коэффициентов общей и продольной полноты из условий ходкости (i -е условие) и грузоподъемности (j -е условие). В этом случае в соотношении (1) $k = 1$. Если зависимость $g_i(x_n)$ монотонно убывающая, то $k = -1$.

Теперь рассмотрим выбор параметра m в формуле (1). Пусть функция $g_i(x_n)$ монотонно возрастает во всей области определения аргумента x_n и $k = 1$. Тогда в закрывающей области значений аргумента x_n , $x_n > x_{np}$ имеем $g_i(x_n) \sim x_n^M$, $M > m$ (здесь запись « $a \sim b$ » читается « a пропорционально b »). Считаем, что при $x_n > x_{np}$ функция $g_i(x_n)$ резко (численно слово «резко» здесь означает «быстрее, чем пропорционально x_n^m ») возрастает с ростом x . На практике же выбор параметра m определяется физическим содержанием рассматриваемой задачи и физическим смыслом, заложенным как в аргумент x_n , так и в функцию $g_i(x_n)$.

Перейдем далее к рассматриваемому в данной работе частному случаю применения метода критических точек. Пусть необходимо выбрать верхнюю границу коэффициента общей полноты $\delta = \delta_{\max}$ так, чтобы это не привело к чрезмерному ухудшению характеристик ходкости. Что значит «чрезмерное ухудшение ходкости» в количественном отношении – определим далее, причем это определение может быть только эвристическим (неформальным).

Тогда $x_n = Fr/\delta$ есть число Фруда по длине при заданном коэффициенте общей полноты δ . Здесь обозначено $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$; v , L – скорость хода корабля и его длина; g – ускорение свободного падения.

Зададимся видом функции $g_i(x_n) = g_i(Fr/\delta)$ и выполним расчет по методу критических точек для ряда значений Fr . Тогда получим зависимость $Fr_{\max} = Fr_{\max}(\delta)$. Здесь $Fr_{\max}$ есть такое число Фруда при заданном δ , что имеем для всех $Fr > Fr_{\max}$ «чрезмерное ухудшение ходкости». Решив уравнение $Fr_{\max} = Fr_{\max}(\delta)$ относительно δ , получим искомую зависимость вида $\delta_{\max} = \delta_{\max}(Fr)$.

В таком случае в качестве функции $g_i(x_n) = g_i(Fr/\delta)$ можно взять:

мощность главных двигателей $N_{гд}$, определяемую без учета влияния волнения, тогда

$$g_i(Fr) = N_{гд}(Fr) = C_{K\Sigma}^{(0)}(Fr) \frac{\rho \cdot v^3}{2\eta_{гп}} \Omega, \quad v = Fr\sqrt{gL};$$

полное сопротивление воды движению корабля на тихой воде R , тогда

$$g_i(Fr) = R(Fr) = C_{K\Sigma}^{(0)}(Fr) \frac{\rho \cdot v^2}{2} \Omega;$$

коэффициент полного сопротивления на тихой воде, тогда

$$g_i(Fr) = C_{K\Sigma}^{(0)}(Fr).$$

В этих формулах ρ – плотность воды; v – скорость хода корабля; Ω – площадь смоченной поверхности; $\eta_{гп}$ – пропульсивный коэффициент. Здесь зависимость от Fr величины $\eta_{гп}$ намного менее существенна, чем зависимость от Fr коэффициента полного сопротивления воды движению корабля на тихой воде $C_{K\Sigma}^{(0)}$.

Теперь предстоит неформально определить, что означает в количественном отношении принцип «не допустить чрезмерного ухудшения характеристик ходкости». В качестве такого неформального определения предлагается принимать следующее [3]. Чрезмерного ухудшения характеристик ходкости не происходит, если коэффициент полного сопротивления на тихой воде $C_{K\Sigma}^{(0)}$ при $Fr \leq Fr_{\max}$ или при $\delta \leq \delta_{\max}$ растет с ростом числа Фруда Fr (или скорости v – ведь все расчеты ведутся при неизменной длине L) в степени не выше первой. Из приведенных выше формул следует, что если при $Fr = Fr_{\max}$ будет $C_{K\Sigma}^{(0)}(Fr) \sim Fr$, то в этом же случае $R(Fr) \sim Fr^3$ и $N_{гд}(Fr) \sim Fr^4$. Тогда в соотношении (1) имеем:

если $g_i(x_n) = g_i(Fr/\delta) = N_{гд}(Fr/\delta)$, то $m = 4$;

если $g_i(x_n) = g_i(Fr/\delta) = R(Fr/\delta)$, то $m = 3$;

если $g_i(x_n) = g_i(Fr/\delta) = C_{K\Sigma}^{(0)}(Fr/\delta)$, то $m = 1$.

Соответствующие аналитические условия, очевидно, будут:

$$Fr = Fr_{\max} : \frac{d}{d(Fr)} \left[\frac{N_{гд}(Fr, \delta)}{Fr^4} \right]_{Fr=Fr_{\max}} = 0;$$

$$Fr = Fr_{\max} : \frac{d}{d(Fr)} \left[\frac{K(Fr, \delta)}{Fr^3} \right]_{Fr=Fr_{\max}} = 0;$$

$$Fr = Fr_{\max} : \frac{d}{d(Fr)} \left[\frac{C_{K\Sigma}^{(0)}(Fr, \delta)}{Fr} \right]_{Fr=Fr_{\max}} = 0.$$

В дальнейшем при применении метода критических точек будем исходить из следующего. Пусть монотонно возрастающая функция $g_i(x_n)$ аппроксимируется как $g_i(x_n) = ax^{y(x)} + c$, а монотонно убывающая функция $g_i(x_n)$ аппроксимируется как $g_i(x_n) = c - ax^{y(x)} + c$, $a, c > 0$. Тогда, если не сделано специальных оговорок, под «чрезмерным (обвальным) ухудшением характеристик» будем понимать рост указанной характеристики пропорционально росту (уменьшению) x_n в степени выше первой. В этом случае при $x = x_{np}$ должно быть $y(x_{np}) \leq 1$ и тогда в формуле (1) далее всюду будет приниматься $m = 1$.

В расчетах ходкости на волнении принимается во внимание как дополнительное сопротивление, обусловленное волнением, так и дополнительное сопротивление, связанное с ветром (эти величины могут быть соизмеримы). Однако дополнительное сопротивление от ветра связано с конфигурацией только надводной части судна и не связано с величиной коэффициента общей полноты. Тогда в соответствии с решаемой задачей в данной работе коэффициент полного сопротивления $C_{R\Sigma}$ должен быть принят для заданной интенсивности полностью развитого волнения в форме

$$C_{R\Sigma} = C_{R\Sigma}^{(0)} + \Delta C_{R\Sigma}; \quad \Delta C_{R\Sigma} = \frac{2\kappa_\varphi(a)\Delta R_W(a)}{\rho v^2 \Omega};$$

$$\Delta R_W = \frac{C_W n_R \exp(n_R) \Gamma(n_R)}{\bar{\omega}_R^4 \left(n_R + \frac{0,177}{a^2 \bar{\omega}_R^4} \right)^{n_R+1}};$$

$$C_W = 110 \rho g C_{Fr} (1 - t_3) \kappa_{T/L} \kappa_\psi \left(\frac{L}{100} \right)^3 \left(\frac{\tau_\psi \sqrt{g}}{10 \sqrt{T}} \right)^3;$$

$$C_{Fr} = 1,0 - 1,05 \left(1,0 - \frac{Fr}{0,29} \right)^2; \quad \kappa_\psi = \left(\frac{10 \delta B}{L} \right)^{3/2};$$

$$\kappa_{T/L} = \frac{10T}{L}; \quad a = \frac{10h_3}{L};$$

$$\bar{\omega}_R = 1,2 - 0,1\sqrt{\alpha} - Fr(2,9\sqrt{\alpha} - 1,9),$$

где $\Delta R_W(a)$ – среднее дополнительное сопротивление воды движению судна на встречном нерегулярном волнении как функция параметра $a = \frac{10h_3}{L}$; $\bar{\omega}_R$ – безразмерная (в долях частоты набегающей волны, длина которой равна длине судна L) частота максимума оператора дополнительного сопротивления воды движению судна на нерегулярном волнении; h_3 – высота волны 3%-й обеспеченности; α – коэффициент полноты площади ватерлинии; B , T – ширина и осадка судна; τ_ψ – период собственных килевых колебаний судна, $\tau_\psi \approx 2,5\sqrt{T}$, τ_ψ в секундах и T в метрах; n_R – параметр аппроксимации оператора дополнительного сопротивления на встречном регулярном волнении по [2]; $\Gamma(x)$ – гамма-функция от аргумента x ; κ_φ – коэффициент усреднения дополнительного сопротивления по всему диапазону курсовых углов по отношению к встречному волнению.

При наличии экспериментальных данных по операторам дополнительного сопротивления судов-прототипов величина n_R определяется по рекомендациям [2]. При отсутствии таких данных на начальных стадиях проектирования допустимо принимать $n_R \approx 4$. Коэффициент κ_φ в соответствии с данными [2] является функцией курсового угла φ_K

и параметров a и $\bar{\omega}_R$. Если принять все курсовые углы судна по отношению к волнению равновероятными, то найти этот коэффициент можно из общего соотношения вида

$$\kappa_\varphi(a, \bar{\omega}_R) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \chi_\varphi(\varphi_K, a, \bar{\omega}_R) d\varphi_K, \quad (2)$$

где графические зависимости вида $\chi_\varphi = \chi_\varphi(\varphi_K, a, \bar{\omega}_R)$ содержатся в [2].

С использованием данных работы [2] по формуле (2) были выполнены необходимые вычисления, что позволило получить зависимость $\kappa_\varphi = \kappa_\varphi(a, \bar{\omega}_R)$. Указанная зависимость приведена в табл. 2.

Таблица 2. Коэффициент $\kappa_\varphi(a, \bar{\omega}_R)$

a	$\kappa_\varphi(a, \bar{\omega}_R)$ при $\bar{\omega}_R$			
	0,8	0,9	1,0	1,1
0,2	1,0765	1,0884	1,2136	1,5479
0,3	0,6718	0,7284	0,8374	1,0999
0,4	0,5096	0,6230	0,7204	0,8592
0,5	0,4380	0,5840	0,6689	0,7668
1,0	0,3747	0,5268	0,6029	0,6816

Для усреднения дополнительного сопротивления по всему диапазону интенсивности волнения примем за основу предложенную в [1] аппроксимацию долгосрочного распределения высот волн 3%-й обеспеченности $q_h(h_3)$ ветвью модифицированного авторами центрированного нормального распределения. Необходимость модификации связана с тем, что суда смешанного плавания в течение одного рейса могут пребывать в районах, характеризующихся существенно различной долгосрочной интенсивностью волнения (на морях и на реках – см., например, табл. 1).

Тогда

$$q_h(h_3) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{S_h^*} \exp\left(-\frac{h_3^2}{2S_h^{*2}}\right); \quad (3)$$

$$S_h^* = \frac{1}{T_p} \sum_{k=1}^K t_k S_{hk}; \quad (4)$$

$$\frac{1}{T_p} \sum_{k=1}^K t_k = 1,$$

где S_h^* – приведенный стандарт распределения; T_p – продолжительность кругового рейса для судна ограниченного района плавания; S_{hk} – значение стандарта распределения на k -м участке рейса для судна ограниченного района плавания; t_k – продолжительность k -го участка рейса для судна ограниченного района плавания; K – количество участков с различными условиями плавания, на которые делится рейс.

При этом

$$t_k = \frac{L_{Rk}}{v_{hk}}; \quad \sum_{k=1}^K L_{Rk} = L_R,$$

где L_{rk} – протяженность k -го участка пути; v_{hk} – скорость судна на этом участке пути с учетом ее потерь на волнении и L_R – расстояние между портами.

Так, в соответствии с табл. 1 имеем $K = 2$, для линии Хайфон – Хо-ши-мин имеем $L_{R1} = 1480$ км и $L_{R2} = 130$ км, а для линии Хайфон – Канто – $L_{R1} = 1630$ км и $L_{R2} = 170$ км.

Отметим, что усреднение в форме (4) приемлемо только для задач технической устойчивости судна, когда отказ означает ухудшение технико-экономических показателей судна, но не его гибель. Для задач предельной устойчивости (отказ равнозначен гибели судна) следует применять исходное распределение [1], в котором стандарт $S_h^* = \max S_{hk}$. Задачи предельной устойчивости в данной работе не рассматриваются.

Для Черного и Средиземного морей имеем $S_{hk} \approx 2,0 \dots 2,5$ м, для Северной Атлантики $S_{hk} \approx 4,0 \dots 4,5$ м [1], для различных рек может быть $S_{hk} \approx 0,5 \dots 0,7$ м. В каждом конкретном случае значение величины S_{hk} может быть легко установлено из условия минимизации суммы среднеквадратичных отклонений ординат гистограммы $\tilde{q}(h_3)$ долгосрочного распределения высот волн 3%-й обеспеченности для k -го участка плавания и рассчитанной по соотношению (3) долгосрочной плотности вероятности $q(h_3)$.

Введем далее замены переменных: $a = \frac{10h_3}{L}$; $b = \frac{10S_h^*}{L}$, и, поскольку тогда $h_3 = \frac{aL}{10}$ и $S_h^* = \frac{bL}{10}$, формула (3) принимает вид

$$q_h(a) = q_h(a, b) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{10}{bL} \exp\left(-\frac{a^2}{2b^2}\right).$$

Тогда коэффициент $C_{R\Sigma} = \tilde{C}_{R\Sigma}$, усредненный по всей совокупности волновых режимов, примет вид

$$\tilde{C}_{R\Sigma} = C_{R\Sigma}^{(0)} + \Delta \tilde{C}_{R\Sigma}(b);$$

$$\Delta \tilde{C}_{R\Sigma}(b) = \frac{2}{\rho v^2 \Omega} \int_0^\infty \kappa_\varphi(a) \Delta R_w(a) q_h(a, b) da.$$

Далее по методу критических точек был выполнен расчет коэффициентов общей полноты в функции числа Фруда для судов ограниченного района плавания с учетом, в отличие от ранее известного подхода [3], также и дополнительного сопротивления на волнении. Рабочий диапазон чисел Фруда по длине для данного случая – от 0,14 до 0,28, а влияние дополнительного сопротивления учитывалось через приведенный стандарт S_h^* (соотношение (4)).

Значениям $S_h^* = 0$ (традиционный подход, когда дополнительное сопротивление движению судна на волнении не учитывается) отвечает формула вида

$$\delta = 1,210 - 2,324Fr.$$

Результаты расчетов по этой формуле достаточно близко совпадают с известными формулами А.В. Бронникова и В.М. Штумпфа. Соответствующий график представлен на рис. 1. При этом при $Fr = 0,20 \dots 0,24$ получается практически полное совпадение рекомендаций авторов с ранее известными данными. На малых числах Фруда, которые отвечают отсутствию волнового сопротивления (это диапазон $Fr = 0,14 \dots 0,16$), данные авторов приводят к значениям коэффициента общей полноты примерно на 0,04...0,05 более высоким, чем в известных рекомендациях, и при $Fr = 0,14$ коэффициент общей полноты достигает 0,88...0,90. Это согласуется с практическими данными Морского инженерного бюро для таких судов смешанного плавания, которые эксплуатируются преимущественно на реках с мягкими волновыми режимами.

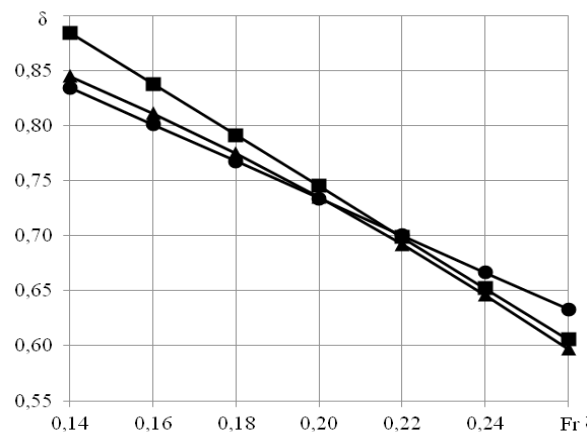


Рис. 1. Сопоставление зависимостей для коэффициента общей полноты δ в функции числа Фруда по данным разных авторов:

● – А.В. Бронников [3]; ▲ – В.М. Штумпф [3]; ■ – автора

Случаю $S_h^* = 1,7$ м, который соответствует условиям эксплуатации вьетнамских судов ограниченного района плавания, отвечает формула

$$\delta = 1,197 - 2,289Fr.$$

Наконец, для одного из самых бурных районов Мирового океана – для Северной Атлантики, которой отвечает $S_h^* = 4,0$ м, получена зависимость

$$\delta = 1,176 - 2,197Fr.$$

На рис. 2 пунктиром показаны ожидаемые тенденции изменения коэффициента общей полноты в зависимости от интенсивности волнения в низкоскоростном диапазоне, основанные на результатах отдельных экспериментов. Соответствующие уточнения возможны после разработки метода расчета

дополнительного сопротивления на волнении при высоких коэффициентах общей полноты.

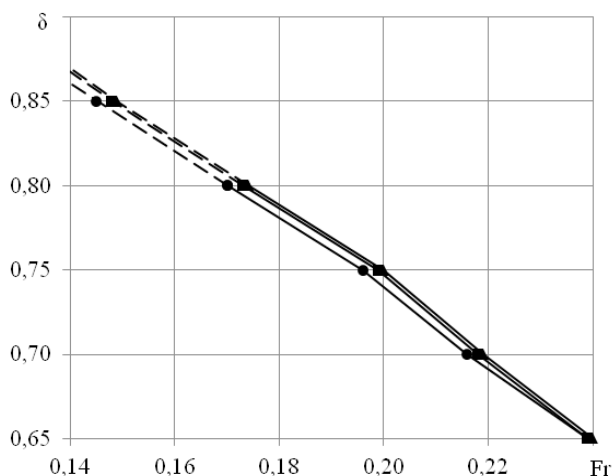


Рис. 2. Влияние учета дополнительного сопротивления на коэффициент общей полноты:

● — $S_h^* = 4,0$ м; ■ — $S_h^* = 2,5$ м; ▲ — $S_h^* = 1,7$ м

ВЫВОДЫ

1. В результате выполненного исследования с применением метода критических точек получены приближенные зависимости для определения коэффициента общей полноты тихоходных и средне-

скоростных морских судов и судов смешанного плавания с учетом района и условий плавания.

2. В рамках традиционного подхода, когда дополнительное сопротивление воды движению судна на волнении не учитывается, при малых ($0,14 \dots 0,16$) числах Фруда выполненный анализ привел к на $0,04 \dots 0,05$ более высоким значениям коэффициента общей полноты по сравнению с рекомендациями А.В. Бронникова и В.М. Штумпфа. Это увеличение отвечает практическим данным Морского инженерного бюро для таких судов смешанного плавания, которые эксплуатируются в условиях мягких волновых режимов.

3. Учет дополнительного сопротивления на волнении приводит к некоторому снижению получаемых по методу критических точек значений коэффициента общей полноты. Это снижение тем больше, чем больше величина коэффициента общей полноты (и меньше число Фруда) и чем выше приведенный стандарт S_h^* .

4. Наиболее интересным в отношении учета влияния волнения диапазоном является низкоскоростной диапазон, отвечающий числам Фруда менее $0,14 \dots 0,16$ и коэффициентам общей полноты δ более $0,8$. Поэтому в процессе последующих исследований целесообразно уточнить расчет дополнительного сопротивления на волнении при $\delta \geq 0,8$ с учетом дифракционной составляющей этого сопротивления, поскольку существующая расчетная схема [2] описывает дополнительное сопротивление в указанном диапазоне δ весьма приближенно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бойцов, Г. В. Прочность и конструкция корпуса судов новых типов [Текст] / Г. В. Бойцов, О. М. Палий. — Л. : Судостроение, 1979. — 360 с.
- [2] Липис, В. Б. Расчет дополнительного сопротивления движению судна на нерегулярном волнении [Текст] / В. Б. Липис // Труды ЦНИИ морского флота. — Л. : Транспорт, 1977. — Вып. 221. — С. 43–61.
- [3] Ногид, Л. М. Проектирование формы судна и построение теоретического чертежа [Текст] / Л. М. Ногид. — Л. : Судпромгиз, 1962.

© О. І. Соломенцев, Лі Тхань Бін

Надійшла до редколегії 25.01.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов