

УДК 629.5.01
С 60

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ СКОРОСТИ СУДНА С МАЛОЙ ПЛОЩАДЬЮ ВАТЕРЛИНИИ В УСЛОВИЯХ ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ

О. И. Соломенцев, д-р техн. наук, проф.;
А. А. Гофман, магистрант

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Рассмотрен расчет естественных и вынужденных потерь скорости судна с малой площадью ватерлинии в условиях ветра и встречного волнения.

Ключевые слова: судно с малой площадью ватерлинии, потеря скорости на волнении, дополнительное сопротивление на волнении, слеминг соединительной конструкции.

Анотація. Розглянуто розрахунки природних та вимушених втрат швидкості судна з малою площею ватерлінії в умовах вітру та зустрічного хвилювання.

Ключові слова: судно з малою площею ватерлінії, втрата швидкості на хвилюванні, додатковий опір на хвилюванні, слемінг з'єднувальної конструкції.

Abstract. In this article we learn connected with wind and head waves speed loss of the small waterplane area twin hull ship.

Keywords: small waterplane area twin hull ship, speed loss in waves, added resistance in waves, cross structure slamming.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Суда с малой площадью ватерлинии (СМПВ) нашли к настоящему времени достаточно широкое применение. Основным их преимуществом наряду с возросшей вместимостью и ходкостью (хотя и в относительно узком диапазоне относительных скоростей) является существенное улучшение мореходности. Это, в частности, проявляется в существенно меньшем снижении скорости на волнении по сравнению с однокорпусными судами, а также и с имеющими традиционные обводы катамаранами [3]. Это обстоятельство обязательно подлежит учету в процессе сопоставительного технико-экономического анализа однокорпусных и многокорпусных вариантов на начальных стадиях разработки того или иного проекта судна. В то же время пригодные для начальных стадий проектирования расчетные зависимости для коэффициента снижения скорости хода $\eta_v(h_3) = \frac{v_h(h_3)}{v}$ применительно к СМПВ отсутствуют (здесь v , $v_h(h_3)$ – скорости хода СМПВ на тихой воде и на волнении, интенсивность которого характеризуется высотой волны 3%-й обеспеченности h_3). Получение таких зависимостей и является рассматриваемой в данной статье проблемой.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Ряд практических данных в части снижения скорости СМПВ на волнении приведен в исследованиях В.А. Дубровского [3, 8], а также в работе [14]. Общие подходы к расчету потерь скорости судна на волнении рассматривались одним из авторов в работах [5,

7, 10]. Расчеты дополнительного сопротивления применительно к СМПВ содержатся в [13, 15]. Экспериментальные и расчетные данные по слемингу соединительной конструкции СМПВ приведены в [17, 18], аналогичные материалы по катамаранам с обычными обводами – в [6, 11]. Приближенные зависимости для расчета характеристик продольной качки СМПВ представлены в [1], аналогичные зависимости для расчета статистических характеристик относительных перемещений от продольной качки судна с учетом необходимого применительно к СМПВ граничного условия на коротких волнах рассмотрены одним из авторов в [8]. Исходные данные для использования таких приближенных зависимостей содержатся в работе [16].

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

К настоящему времени применительно к традиционным судам и к катамаранам с обычными обводами в литературе известны два вида зависимостей для определения коэффициента $\eta_v(h_3)$:

приближенные зависимости, когда указанный коэффициент определяется без учета в явном виде естественных и вынужденных потерь скорости по приближенным зависимостям [7];

более точные зависимости, когда указанный коэффициент определяется в зависимости от дополнительного сопротивления на волнении и характеристик продольной качки, слеминга, заливаемости с разделением на естественную и вынужденную составляющие [5, 10].

Рассмотрим применительно к СМПВ обе группы зависимостей. В первом случае, сохранив для

СМПВ ту же структуру расчетной зависимости, что и для традиционных судов [7], и используя практические данные по снижению скорости СМПВ [3], для встречного волнения находим

$$\eta_v(\bar{h}_3) = \exp(-a_\eta \bar{h}_3^2), \quad (1)$$

где $\bar{h}_3 = \frac{h_3}{\sqrt[3]{V}}$; $a_\eta \approx 0,05$, если СМПВ движется на максимально возможной для встречного волнения скорости, несмотря на возможные штормовые повреждения, а V – объемное водоизмещение СМПВ.

Формула (1) справедлива при $\bar{\lambda}/L_c \leq [\bar{\lambda}/L_c]$, где $\bar{\lambda}$, L_c – средняя длина волны и длина стойки соответственно, а параметр $[\bar{\lambda}/L_c]$ для скоростных СМПВ равен примерно 4 [3]. Далее покажем, что это условие фактически представляет собой условие резонанса по относительным перемещениям от продольной качки. На более интенсивных волновых режимах возможно снижение η_v по сравнению с определяемой по этой формуле величиной [3].

В то же время для традиционных судов с длиной L имеем [7]

$$\eta_v(h_3) = \eta_v^{(0)}(h_3) \approx \exp\left[-A_\eta \left(\frac{10h_3}{L}\right)^2\right]. \quad (2)$$

Если судно, несмотря на возможные штормовые повреждения, движется без вынужденного снижения скорости на встречном волнении, то $A_\eta \approx 1$. Сопоставить приведенные формулы можно, если учесть, что аргументы этих формул для традиционных кораблей и для СМПВ близки. Справедливо соотношение

$$\frac{10h_3}{L} \approx \frac{10}{l} \frac{h_3}{\sqrt[3]{V}} \approx \frac{10}{l} \bar{h}_3,$$

где $l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}}$ – относительная длина традиционного корабля, тогда как коэффициент a_η в формуле (1) на порядок меньше коэффициента A_η в формуле (2).

Рассмотрим далее более точные зависимости для расчета потери скорости СМПВ. В основе их лежит зависимость вида [5]

$$\eta_v(h_3) = \eta_{v1}(h_3)\eta_{v2}(h_3), \quad (3)$$

где сомножители $\eta_{v1}(h_3)$ и $\eta_{v2}(h_3)$ учитывают естественные и вынужденные потери скорости соответственно.

Применительно к судам с традиционными обводами определение величин $\eta_{v1}(h_3)$ и $\eta_{v2}(h_3)$ в формуле (3) рассмотрено в работах [5, 9]. Рассмотрим далее особенности определения указанных величин для СМПВ.

Величина $\eta_{v1}(h_3)$ выражается через сопротивление воды движению СМПВ на тихой воде R и дополнительные сопротивления движению СМПВ, обусловленные ветром ΔR_1 и волнением ΔR_2 . Расчет дополнительного сопротивления от ветра ΔR_1 не представляет

принципиальных затруднений, поскольку каких-либо отличий по сравнению с традиционными судами здесь нет. Теоретические расчетные оценки дополнительного сопротивления воды движению судна на волнении ΔR_2 в общем виде приведены в [14], а конкретизация этих зависимостей применительно к СМПВ содержится в работах [13, 16]. Однако эти зависимости отличаются сложностью и громоздкостью. А поскольку как естественные, так и вынужденные потери скорости на волнении у СМПВ невелики, то при поиске η_{v1} можно использовать приближенные методы, рассматривая при этом только встречное волнение. Представляется возможным принять за основу экспериментальные данные [15], ограничившись при этом приближенной зависимостью вида

$$\eta_{v1} = \eta_{v1}(h_3) \approx 1 - \frac{\Delta \bar{N}}{n_R + 1}, \quad (4)$$

$$\Delta \bar{N} = \frac{\Delta N}{N} = \varphi_N \frac{\rho g V v}{N}, \quad (5)$$

где ΔN – приращение мощности на волнении, необходимое для сохранения заданной скорости СМПВ на встречном волнении, задаваемое экспериментальными данными [15]; n_R – коэффициент в формуле $R = C_R v^{n_R}$; R , v – полное сопротивление и скорость; $C_R \neq C_R(v)$, а коэффициент φ_N найдется по табл. 1 [15],

в функции параметров $Fr_K = \frac{v}{\sqrt{g L_K}}$ и $a_2 = \frac{10h_{1/3}}{L_K} = \frac{7,5h_3}{L_K}$, где L_K – длина погруженного корпуса СМПВ.

Таблица 1. Определение коэффициента φ_N

Fr _K	Значение φ_N при a_2			
	0,5	1,0	1,5	2,0
0,19	0,07	0,20	0,35	0,45
0,38	0,16	0,17	0,28	0,42
0,53	0,04	0,14	0,25	0,34

Здесь $h_{1/3} = \frac{h_3}{1,32}$ – «значительная» высота волны.

А при нахождении параметра n_R предполагается, что зависимость сопротивления воды движению СМПВ на тихой воде от скорости $R(v)$ известна. Пусть v_0 – скорость полного хода СМПВ на тихой воде, а $v_1 = \eta_v^{(0)} v_0$; $\eta_v^{(0)} = 0,7 - 0,8$. Тогда после элементарных преобразований получим

$$n_R = \frac{\lg \frac{R(v_0)}{R(v_1)}}{\lg \frac{v_0}{v_1}} \approx 3,0 \dots 3,5.$$

Перед определением коэффициента η_{v2} оказывается необходимым найти дисперсию относительных перемещений у носового перпендикуляра D_{ζ_0} и дисперсию скоростей относительных перемещений у носового перпендикуляра на продольном волнении D_{ζ_0} .

Здесь приходится учитывать, что, поскольку величины максимальных ординат амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) относительных перемещений у СМПВ существенно меньше, чем у традиционных кораблей и у катамаранов с обычными обводами, то при выборе аппроксимирующей зависимости для АЧХ следует учесть в явном виде граничное условие на коротких волнах. В соответствии с работой [8] для дважды нормированного модуля передаточной функции относительных перемещений СМПВ от продольной качки на встречном волнении $|\overline{\Phi}_\zeta(\overline{\omega})|$ имеем:

$$|\overline{\Phi}_\zeta(\overline{\omega})|^2 = C_\Phi \overline{\omega}^{-4m} \exp[-m(\overline{\omega}^{-4} - 1)] + \frac{1}{\zeta_{0\max}^2} \exp(-\overline{\omega}^{-4}); \quad (6)$$

$$\overline{\omega} = \frac{\omega}{\omega_\zeta}; \quad \omega_\zeta \approx \frac{2\pi}{\tau_\psi}; \quad \zeta_{0\max} \approx 1 + 6,0 \kappa_{Fr} (Fr_K) K_\psi;$$

$$\kappa_{Fr} \approx 1 + 20 \cdot (0,35 - Fr_K)(10K_\psi - 0,5)^2;$$

$$K_\psi = \frac{\overline{\rho}_Y R_K}{A + R_K}; \quad \overline{\rho}_Y = \sqrt{\frac{I_f}{V^{2/3} L_C^2}} \quad (\text{СМПВ типа А});$$

$$\overline{\rho}_Y = \sqrt{\frac{I_f}{V^{2/3} (L_{C1}^2 + L_{C2}^2)}} \quad (\text{СМПВ типа В}).$$

$$Fr_K = \frac{v}{\sqrt{gL_K}},$$

где A – заглубление осей погруженных корпусов под свободную поверхность;

L_K, R_K – длина и радиус погруженного корпуса;

ω – частота элементарной гармонике нерегулярного волнения;

$\zeta_{0\max}$, ω_ζ – максимальная ордината АЧХ относительных перемещений и соответствующая ей частота регулярной волны для СМПВ;

v – скорость хода СМПВ;

τ_ψ – период собственных килевых колебаний СМПВ, определяемый по одной из известных формул;

$\overline{\rho}_Y$ – безразмерный продольный радиус инерции площади КВЛ.

Здесь СМПВ типа А – с одной сплошной стойкой по длине (длина стойки L_C), а СМПВ типа В – с двумя короткими, по сравнению с длиной погруженного корпуса, стойками в оконечностях (длина стоек L_{C1} и L_{C2}). Коэффициент C_Φ в формуле (6) определяется из условия $|\overline{\Phi}_\zeta(1)| = 1$ и получается равным

$$C_\Phi = 1 - \frac{1}{e^{\zeta_{0\max}^2}},$$

где $e \approx 2,78$ – основание натуральных логарифмов.

Для традиционных судов, равно как и для катамаранов с обычными обводами, когда $\zeta_{0\max} \geq 2,5 - 3,0$, с погрешностью не более нескольких процентов можно принимать $C_\Phi \approx 1$ [8]. Но для СМПВ, когда $\zeta_{0\max} = 1,2 - 1,5$, отличие величины C_Φ от 1 следует учитывать.

Коэффициент K_ψ предложен в работе [1]. Коэффициент m должен определяться по методу наименьших квадратов с использованием экспериментальной АЧХ относительных перемещений. Для рассмотренного в исследовании [17] СМПВ получено $m = 12$ (рис. 1).

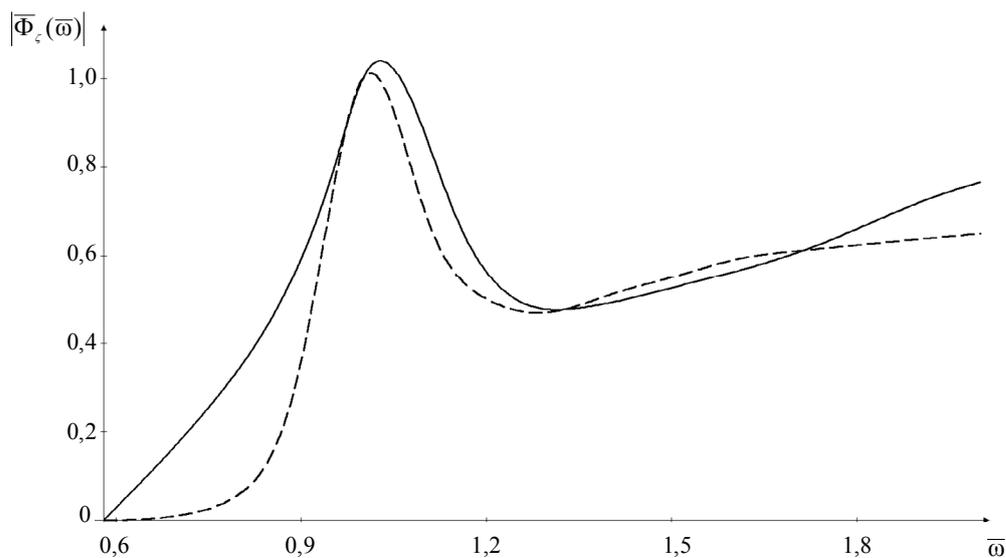


Рис. 1. Обоснование коэффициента m в формуле (6): – экспериментальные данные [17], приведенные к дважды нормированной форме; ----- – расчет по формуле (6) при $m = 12$

Связь между максимальной ординатой амплитудно-частотной характеристики относительных перемещений от продольной качки СМПВ на носовом перпендикуляре $\bar{\zeta}_{0\max}$ и коэффициентом K_{Ψ} принята с учетом работы [17]. Коэффициент $K_{Fr}(Fr_K)$ представляет собой некоторую убывающую функцию скорости, а вид указанной зависимости должен определяться путем систематических расчетов по приведенному выше алгоритму. В первом приближении для диапазона $0,2 \leq Fr_K \leq 0,5$ и $K_{\Psi} \geq 0,05$ по данным работы [1] для определения коэффициента $K_{Fr}(Fr_K)$ можно использовать приведенную выше простую зависимость.

Тогда дисперсию относительных перемещений СМПВ от продольной качки на продольном волнении у носового перпендикуляра D_{ζ} и дисперсию скоростей относительных перемещений в том же поперечном сечении $D_{\zeta 0}$ можно оценить по следующим простым зависимостям, которые следуют из [8]:

$$D_{\zeta 0} = \omega_{\zeta C}^2 D_{\zeta 0};$$

$$D_{\zeta 0} = \frac{2}{\pi} \left(\bar{\zeta}_{0\max} \frac{L_K}{100} \right) I_{\zeta} + \frac{D_r}{1,0 + 5,65 a_3^2 \omega_{\zeta}^4};$$

$$\omega_{\zeta C} = \frac{1}{\bar{\zeta}_{0\max}} \left[\omega_{\zeta C}^* (\bar{\zeta}_{0\max} - 1) + \omega_{\zeta C}^{**} \right];$$

$$a_3 = \frac{10 h_3}{L_K} \approx 1,32 a_2; \quad D_r = 0,143 \left(\frac{h_3}{2} \right)^2;$$

$$(\omega_{\zeta C}^*)^2 = \frac{\omega_{LK}^2}{I_{\zeta}} (I_{\zeta 1} \pm 2\sqrt{2\pi} Fr_K I_{\zeta 2} + 2\pi Fr_K^2 I_{\zeta 3});$$

$$\omega_{\zeta C}^{**} = \sqrt{\frac{1}{M_{S0}} \left(M_{S2} \pm \frac{2v}{g} M_{S3} + \frac{v^2}{g^2} M_{S4} \right)};$$

$$I_{\zeta} = \frac{\bar{\omega}_{\zeta}^{4m} e^m \Gamma(m+1)}{\Pi_{\omega}^{m+1}}; \quad I_{\zeta 1} = \frac{\bar{\omega}_{\zeta}^{4m} e^m \Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Pi_{\omega}^{m+\frac{1}{2}}};$$

$$I_{\zeta 2} = \frac{\bar{\omega}_{\zeta}^{4m} e^m \Gamma\left(m + \frac{1}{4}\right)}{\Pi_{\omega}^{m+\frac{1}{4}}};$$

$$I_{\zeta 3} = \frac{\bar{\omega}_{\zeta}^{4m} e^m \Gamma(m)}{\Pi_{\omega}^m}; \quad \Pi_{\omega} = m \bar{\omega}_{\zeta}^4 + \frac{0,177}{a_3^2}; \quad \omega_K = \sqrt{\frac{2\pi g}{L_K}};$$

$$M_{Sj} = \int_0^{\infty} \omega^j S_r(\omega) d\omega,$$

где знак «+» отвечает встречному, а знак «-» – попутному волнению; L_K – длина погруженного корпуса; $S_r(\omega)$ – спектральная плотность волновых ординат; M_{Sj} – момент спектральной плотности j -го порядка; D_r – дисперсия волновых ординат.

Далее определить коэффициент вынужденных потерь скорости η_{v2} можно по рекомендациям [10].

Определяющим фактором при нахождении этого коэффициента будет, как и для катамаранов с обычными обводами, слеминг соединительной конструкции [5, 17], хотя заливание (зарывание и забрызгивание) также могут иметь некоторое значение [12]. Основные закономерности, определяющие слеминг соединительной конструкции, для СМПВ и для катамаранов с обычными обводами практически одни и те же (сравнить [11] и [18]). Если ограничиться частотным критерием слеминга, то здесь также можно принимать пороговую скорость равной 0. Расчетное количество ударов в час n_c в районе носового перпендикуляра СМПВ в этом случае будет

$$n_c = \frac{T_p}{\tau_{\zeta}} \exp \left[\frac{(h_{BK} - \Delta_1)^2}{2D_{\zeta 0} (1 + \Delta_2)} \right], \quad (7)$$

где $T_p = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$ – расчетный промежуток времени;

$$\tau_{\zeta} = 2\pi \sqrt{\frac{D_{\zeta 0}}{D_{\zeta 0}}} - \text{средний период относительных перемещений от продольной качки};$$

ремещений от продольной качки;

h_{BK} – вертикальный клиренс на носовом перпендикуляре;

Δ_1, Δ_2 – статический и безразмерный динамический подъем при продольной качке.

Анализ влияния архитектурно-конструктивных особенностей СМПВ на величину динамического подъема с использованием данных исследования [9] позволяет принять в соотношении (7) $\Delta_2 \approx 0$. Это связано, во-первых, с прямостенностью бортов СМПВ в районе КВЛ, а во-вторых, с малыми коэффициентами демпфирования при вертикальных колебаниях и соответственно с малыми амплитудами излучаемых при продольной качке волн. Статический подъем Δ_1 с использованием данных работы [12] может быть найден в таком виде:

$$\Delta_1 \approx 0,012 \kappa_{LR} L_K Fr_K^{1,5} - \Delta T_X - \Delta \Psi_X \left(\frac{L_K}{2} - x_f \right);$$

$$\kappa_{LR} = 1,0 - 0,05 \cdot \left(\frac{L_K}{2R_K} - 11 \right);$$

$$\Delta T_X \approx 0,045 L_K \sin \pi \cdot Fr_K; \quad 0 \leq Fr_K \leq 1,0;$$

$$\Psi_X \approx -0,8 \left(\frac{Fr_K}{0,4} \right)^2 \text{ град}; \quad Fr_K \leq 0,4;$$

$$\Psi_X^{(KK2)} \approx -0,8 + 1,8 \sin[2,5\pi(Fr_K - 0,4)] \text{ град}; \quad 0,4 \leq Fr_K \leq 0,6;$$

$$\Psi_X^{(KK2)} \approx 1 \text{ град}; \quad 0,6 \leq Fr_K \leq 1,0,$$

где ΔT_X – ходовое изменение осадки для СМПВ, положительное при всплытии;

Ψ_X – ходовой дифферент для СМПВ (положительный на корму).

Первое слагаемое в соотношении для величины Δ_1 характеризует максимальную для носовой оконечности

высоту носового буруна на ходу. Эта величина зависит кроме числа Фруда также и от параметра $\frac{L_K}{2R_K}$,

тогда как влияние прочих параметров и их соотношений малозначительно. По данным работы [12], максимальная высота носового буруна сдвигается с нулевого теоретического шпангоута при $Fr_K \leq 0,30$ до первого – полуторного теоретических шпангоутов при $Fr_K = 0,45 \dots 0,50$ и до третьего теоретического шпангоута при $Fr_K = 0,7$.

При использовании простейшего силового критерия слеминга (ударные давления) можно считать амплитуды ударных давлений подчиненными экспоненциальному закону распределения [18]. Тогда количество опасных (превышающих предельно допустимое ударное давление $[p_{max}]$) ударов в час n_{c0} определится как

$$n_{c0} = \frac{T_p}{\tau_\zeta} \exp \left[\frac{(h_{BK} - \Delta_1)^2}{2D_{\zeta 0} (1 + \bar{\Delta}_2^2)} + \frac{[p_{max}]}{K_p(\gamma) \rho D_{\zeta 0}} \right],$$

где $K_p(\gamma)$ – коэффициент ударных давлений, зависящий от случайного угла соударения γ .

Для случайных углов соударения можно принять закон равномерной плотности, как это было предложено одним из авторов в работе [6] на основании экспериментов [11].

На рис. 2 представлены численные результаты расчетов по приведенным выше зависимостям. Эти результаты относятся к среднескоростному научно-исследовательскому СМПВ с объемным водоизмещением $V = 2520 \text{ м}^3$, скоростью на тихой воде $v_s = 15 \text{ уз}$ и длиной $L = 56,7 \text{ м}$; длина стойки $L_{ct} = 54,3 \text{ м}$. Ходкость на тихой воде рассчитывалась по экспериментальным данным [2]. Естественные потери скорости определялись по соотношениям (4), (5). Вынужденные потери скорости находились исходя из следующего. Когда при движении СМПВ в условиях естественного снижения скорости количество ударов в час при слеминге n_c превысит 20, 40 или 60, судоводитель будет снижать скорость с таким расчетом, чтобы оно оставалось равным указанным величинам. Расчеты частот ударов при слеминге соединительной конструкции выполнялись по формуле (7).

Из рис. 2 видно, что для СМПВ существует достаточно обширная область такой интенсивности волнения, при которой практически отсутствуют вынужденные потери скорости. Эта область характеризуется диапазоном $0 < \bar{h}_3 < [\bar{h}_3]$; $[\bar{h}_3] \approx 0,5$, чему для рассматриваемого СМПВ отвечает диапазон $0 < h_3 < 6 \text{ м}$ и параметр $L_s/L_{ct} = 3$. Между тем, для однокорпусного судна того же водоизмещения вынужденные потери скорости начинаются уже при $h_3 > 3 \dots 4 \text{ м}$, а принятая нормативная величина количества ударов в час n_c (20, 40 или 60 1/ч) слабо влияет на ширину указанного диапазона. Экспоненциальные

зависимости типа (1) при поправке $a_\eta \approx 0,05$ справедливы только в этом диапазоне. Интересно, что СМПВ практически во всем диапазоне интенсивности волнения может двигаться практически без снижения скорости, если не учитывать возможные штормовые повреждения. Это следует из рис. 2 и связано с резким уменьшением дополнительного сопротивления в условиях волнения при переходе к СМПВ.

Объясняется такое уменьшение так. Дополнительное сопротивление воды движению судна на встречном регулярном волнении с частотой ω и с амплитудой r_0 -величина $\Delta R_2(\omega)$ в общем случае определится в виде [14]

$$\Delta \tilde{R}_2(\omega) = \frac{r_0^2 \omega^2}{2g\omega_k} \int_{L_K} \tilde{B}_z(x, \omega) \zeta^2(x, \omega) dx;$$

$$\tilde{B}_z(x, \omega) = 2\tilde{N}_z(x, \omega) - v \frac{\partial \tilde{\lambda}_z(x, \omega)}{\partial x},$$

где $\omega_k = \omega + \frac{\omega^2 v}{g}$ – кажущаяся частота;

$\tilde{N}_z(x)$, $\tilde{\lambda}_z(x)$ – коэффициент демпфирования и присоединенная масса при вертикальных колебаниях шпангоутного контура в сечении с абсциссой x ;

$\zeta(x, \omega, t)$ – ордината скорости перемещений от продольной качки относительно невозмущенной волны для того же контура;

$\tilde{\zeta}(x, \omega)$ – амплитуда скорости перемещений от продольной качки относительно невозмущенной волны для того же контура.

При этом обобщенный гидродинамический коэффициент вертикальной качки $B_z(\omega) = \int_{L_K} \tilde{B}_z(x, \omega) dx$

для СМПВ во всем частотном диапазоне очень существенно (в разы, иногда даже на порядок) меньше аналогичного коэффициента для однокорпусного судна того же водоизмещения. Соответственно столь же резко снижается и дополнительное сопротивление, обусловленное волнением, что и было отражено использованными выше экспериментами [15]. С этим и связаны весьма незначительные естественные потери скорости СМПВ.

Характер кривых на рис. 2 объясняется тем, что период собственных килевых колебаний и средний период относительных перемещений для СМПВ примерно вдвое больше, а соответствующие частоты – вдвое меньше, чем для однокорпусного судна того же водоизмещения. Соответственно длина резонансной по относительным перемещениям волны для СМПВ будет уже в четыре раза больше, чем для сопоставимого однокорпусного судна. Поэтому и получается, что в диапазоне высот волн 3%-й обеспеченности $0 < h_3 < 6 \text{ м}$, чему примерно отвечает диапазон средних длин волн $0 < \bar{\lambda} < 100 \text{ м}$, относительные перемещения на нерегулярном волнении получаются весьма небольшими. Малой будет и частота ударов, в силу чего вынужденное снижение скорости не понадобится. Но при подходе к резонансу, когда $h_3 > 6-7 \text{ м}$, картина резко меняется (см. рис. 2).

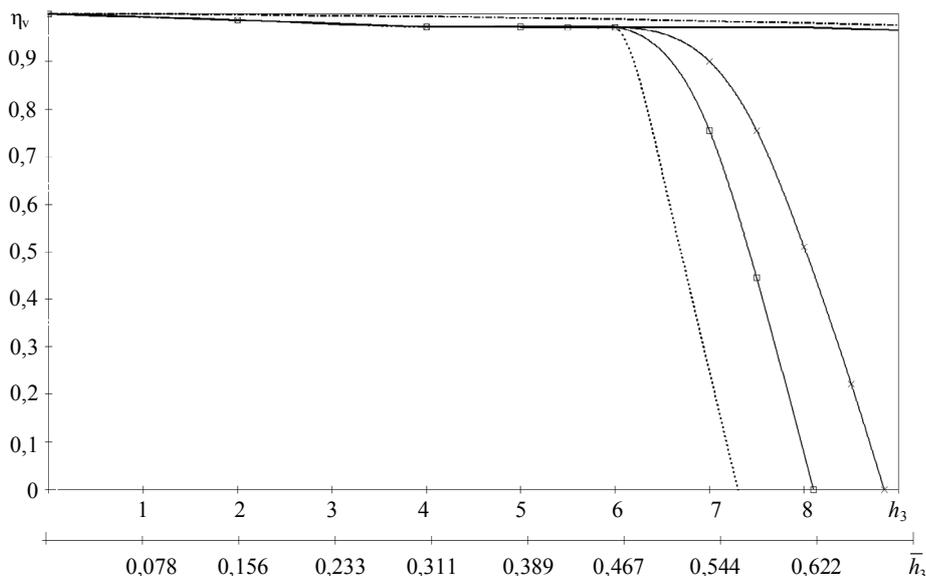


Рис. 2. Естественные и вынужденные потери скорости СМПВ: — — естественные потери по формулам (4), (5); — вынужденные потери при $n_c = 20$ 1/ч; □□□□ — при $n_c = 40$ 1/ч; ×××× — при $n_c = 60$ 1/ч; - - - - - аппроксимирующая функция

Приняв среднюю длину волны $\bar{\lambda} \approx 16h_3$, найдем, что параметр $[\bar{\lambda}/L_c]$, при превышении которого экспоненциальные зависимости перестают быть справедливыми, для среднескоростного СМПВ оказывается равным примерно 1,9. Это существенно меньше, чем для высокоскоростных СМПВ по [3].

ВЫВОДЫ

1. В результате выполненного исследования получены приближенные зависимости для расчета потерь скорости СМПВ в условиях встречного нерегулярного волнения.

2. Естественные потери скорости СМПВ во всем диапазоне интенсивности волнения получаются весьма малыми. Поэтому если не обращать внимание на штормовые повреждения, то СМПВ может двигаться на волнении любой возможной интенсивности, практически не снижая скорость. Это согласуется с известными данными модельных и натуральных экспериментов.

3. Основной причиной вынужденных потерь скорости СМПВ в условиях волнения является, как и для

катамаранов с обычными обводами, слеминг соединительной конструкции. Это связано с неблагоприятными условиями соударения.

4. Максимальная ордината модуля передаточной функции относительных перемещений от продольной качки для СМПВ намного меньше, чем для традиционных однокорпусных судов и катамаранов с обычными обводами (1,2–1,4 по сравнению с 3–5). Поэтому при выводе аппроксимирующей зависимости для модуля дважды нормированной передаточной функции относительных перемещений обязательно учет граничного условия на коротких волнах.

5. Вынужденные потери скорости для обследованного в данной работе среднескоростного СМПВ при определенных соотношениях между параметрами интенсивности волнения и абсолютными размерами СМПВ весьма малы, а при выходе за пределы этих соотношений начинают резко нарастать. Это связано с тем, что периоды продольных колебаний СМПВ примерно вдвое больше аналогичных периодов однокорпусного судна того же водоизмещения. Поэтому условия резонанса проявляются только на достаточно интенсивном нерегулярном волнении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] **Бойцова, Е. Г.** Влияние особенностей архитектуры судов с малой площадью ватерлинии на продольную качку [Текст] / Е. Г. Бойцова // Судостроительная промышленность. Сер. Проектирование судов. – Л. : ЦНИИ «Румб», 1991. – Вып. 18. – С. 25–27.

[2] **Дубровский, В. А.** Приближенный метод определения главных элементов судов с малой площадью ватерлинии [Текст] / В. А. Дубровский // Многокорпусные суда. – Л. : Судостроение, 1978. – С. 289–294.

[3] **Дубровский, В. А.** Основные особенности гидродинамики и технико-эксплуатационные качества судов с малой площадью ватерлинии [Текст] / В. А. Дубровский // Судостроение. – 1993. – № 8/9. – С. 3–6.

- [4] **Дубровский, В. А.** Выбор типа судна должен определяться его назначением // Судостроение. – 2007. – № 6. – С. 22–26.
- [5] **Соломенцев, О. И.** Общие принципы расчета потери скорости катамаранов на волнении [Текст] / О. И. Соломенцев // Судостроение. – 1986. – № 10. – С. 10–13.
- [6] **Соломенцев, О. И.** Теоретическая оценка диапазона углов соударения при слеминге соединительной конструкции катамарана [Текст] / О. И. Соломенцев // Судостроение : республиканский межведомственный научно-технический сборник. – К. ; О. : Вища школа, 1989. – Вып. 38. – С. 70–79.
- [7] **Соломенцев, О. И.** Инженерная методика расчета потери скорости на волнении для одно- и двухкорпусных судов [Текст] / О. И. Соломенцев // Проектирование судов и судовых устройств : сб. науч. трудов НКИ. – Николаев : НКИ, 1991. – С. 45–55.
- [8] **Соломенцев, О. И.** О форме аппроксимирующей зависимости для модуля передаточной функции относительных перемещений при продольной качке судов на встречном волнении [Текст] / О. И. Соломенцев // Программные и аппаратные средства вычислительной техники и автоматизированных систем : сб. науч. трудов НКИ. – Николаев : НКИ, 1992. – С. 31–43.
- [9] **Соломенцев, О. И.** Расчет динамического подъема воды при продольной качке одно- и двухкорпусных судов [Текст] / О. И. Соломенцев // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ, 1998. – № 12 (360). – С. 17–28.
- [10] **Соломенцев, О. И.** Методы расчета вынужденных потерь скорости судна на встречном волнении, связанные с нормированием слеминга и заливаемости [Текст] / О. И. Соломенцев // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. – № 4.
- [11] **Chuang, S.L.** Experimental Investigation of Catamaran Cross Structure Slamming [Text] / S. L. Chuang, J. T. Birmihgham, A. J. Furio // Naval Ship Research and Development Center Report № 4653. – Bethesda, 1975. – 56 p.
- [12] **Dubrovsky, V.** Small Waterplane Area Ships [Text] / V. Dubrovsky, K. Matveev, S. Sutulo // Backbone Publishing Company. – USA, 2007. – 255 p.
- [13] **Fang, M. C.** A Simplified Method to Predict the Added Resistance of a SWATH Ship in Waves [Text] / M. C. Fang // Journal of Ship Research, 1998. – Vol. 42. – № 2. – P. 131–138.
- [14] **Gerritsma, I. J.** Analysis of the Resistance Increase in Waves of a Fast Cargo Ship [Text] / I. J. Gerritsma, W. Beukelmann // International Shipbuilding Progress, 1972. – Vol. 19. – nr 217.
- [15] **Nethercote, W. C. E.** A Concept Exploration Model for SWATH Ships [Text] / W. C. E. Nethercote, R. T. Schmitke // Naval Architect, 1982. – № 5. – P. 210–252.
- [16] **Varyani, K. S.** Added Resistance of Submersibles Advancing in Waves [Text] / K. S. Varyani // International Shipbuilding Progress, 1993. – Vol. 40, nr 424.
- [17] **Zarnick, E. E.** Relative Bow Motion and Frequency of Slamming of SWATH Cross Structure [Text] / E. E. Zarnick, Y. S. Hong // David Y. Taylor Naval Ship Research and Development Center. – Bethesda, 1986. – 32 p.
- [18] **Zarnick, E. E.** Prediction of SWATH Cross-Structure Slamming Pressures [Text] / E. E. Zarnick // David Y. Taylor Naval Ship Research and Development Center. – Bethesda, 1987. – 22 p.

© О. И. Соломенцев, А. А. Гофман

Надійшла до редколегії 31.09.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК

д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов

Статтю розміщено у Віснику НУК № 4, 2013