

УДК 629.5.01
Х 68

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАЧАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ ОДНОКОРПУСНЫХ БЫСТРОХОДНЫХ СУДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ

Нгуен Гуй Хоанг, асп.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Приведено определение характеристик начальной поперечной остойчивости однокорпусных быстроходных судов, эксплуатирующихся в переходном режиме.

Ключевые слова: характеристика начальной поперечной остойчивости, однокорпусное быстроходное судно, переходный режим.

Анотація. Наведено визначення характеристик початкової поперечної остійності однокорпусних швидкохідних суден, що експлуатуються в перехідному режимі.

Ключові слова: характеристика початкової поперечної остійності, однокорпусне швидкохідне судно, перехідний режим.

Abstract. The definition of the characteristics of the initial transverse stability of monohull high-velocity ships operating in the transient mode has been given.

Keywords: characteristics of initial transverse stability, monohull high-speed ship, transient mode.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Определение характеристик остойчивости является одним из ключевых этапов проектирования судна, обеспечивающих заданные проектные элементы и безопасность эксплуатации. Методы расчета остойчивости судов в режиме плавания не отличаются от известных методов статики корабля [1, 3]. Однако эти методы не приемлемы для расчета остойчивости быстроходных судов в переходном режиме, так как действуют на суда в этом режиме не только гидростатические, но и динамические силы. Таким образом, определение характеристик начальной поперечной остойчивости однокорпусных быстроходных судов (ОБС), эксплуатирующихся в переходном режиме, является актуальным.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Определение характеристик начальной поперечной остойчивости ОБС, эксплуатирующихся в переходном режиме, отражено в работе [2]. Однако при этом использовалось большое количество параметров, полученных из графиков их зависимостей. В результате затрачивается много времени и не обеспечивается точность расчета. В данной статье представлено определение характеристик начальной поперечной остойчивости ОБС, эксплуатирующихся в переходном режиме, с использованием приближенных формул, полученных аппроксимацией функций методом наименьших квадратов.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ – определение характеристик начальной поперечной остойчивости однокорпусных быстроходных судов, эксплуатирующихся в переходном режиме.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В переходном режиме восстанавливающий момент судна от действия всех внешних сил относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести судна, т. е. в плоскости мидель-шпангоута, рассчитывается по формуле [2]

$$M_B = M_{\Delta_1} + M_p - M_k,$$

где M_{Δ_1} – момент гидростатических сил при скорости v_1 ; M_p – момент сил на рулях; M_k – гидродинамический момент на корпусе судна.

Момент гидростатических сил определяется по выражению

$$M_{\Delta_1} = \Delta_1 h_1 \theta_x,$$

где Δ_1 – гидростатическая сила при скорости v_1 ; h_1 – метацентрическая высота при водоизмещении $D_1 = \Delta_1/g$ ($g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения); θ_x – ходовой угол крена, град.

Момент сил на рулях

$$M_p = \left(\frac{\partial C_{зр}}{\partial \beta} \right) (\beta - \psi) \frac{\rho v^2}{2} S_p (Z_g - l_1),$$

где $\left(\frac{\partial C_{зр}}{\partial \beta} \right)$ – безразмерный коэффициент, определяется экспериментально; β, ψ – углы, град, соответственно перекладки рулей и дрейфа; $\rho = 1,025$ т/м³ – удельная масса морской воды; v – скорость судна, м/с; S_p – площадь пера руля, м²; $l_1 = 0,1 \dots 0,5$ – расстояние от центра давления сил на руле до основной линии, м.

Гидродинамический момент на корпусе судна

$$M_k = \left(\frac{\partial C_y}{\partial \psi} \right) \psi \frac{\rho v^2}{2} \left(\frac{\Delta_0}{\rho g} \right)^{2/3} \left(Z_g + \frac{2}{3} L_{cm} \varphi \right),$$

где $(\partial C_y / \partial \psi)$ – безразмерный коэффициент в функции от числа Фруда по ширине судна $Fr_B = \frac{v}{\sqrt{gB}}$; $\Delta_0 = gD_0$ – начальная гидростатическая сила, кН; D_0 – начальное водоизмещение судна, т; L_{cm} – смоченная длина судна по скуле, м; φ – угол дифферента, град.

Таким образом, восстанавливающий момент судна от действия всех внешних сил в переходном режиме

$$M_B = \Delta_1 h_1 \theta_x + \left(\frac{\partial C_{зп}}{\partial \beta} \right) (\beta - \psi) \frac{\rho v^2}{2} S_p (Z_g - l_1) - \left(\frac{\partial C_y}{\partial \psi} \right) \psi \frac{\rho v^2}{2} \left(\frac{\Delta_0}{\rho g} \right)^{2/3} \left(Z_g + \frac{2}{3} L_{cm} \varphi \right). \quad (1)$$

С другой стороны, восстанавливающий момент M_B может быть определен по формуле

$$M_B = \Delta_0 h \theta_x, \quad (2)$$

где h – условная метацентрическая высота, м.

После сравнения выражений (1) и (2) условную метацентрическую высоту получим по формуле

$$h = \frac{\Delta_1 h_1}{\Delta_0} + \frac{\rho v^2}{2} \frac{1}{\Delta_0 \theta_x} \left[\left(\frac{\partial C_{зп}}{\partial \beta} \right) (\beta - \psi) S_p (Z_g - l_1) - \left(\frac{\partial C_y}{\partial \psi} \right) \psi \left(\frac{\Delta_0}{\rho g} \right)^{2/3} \left(Z_g + \frac{2}{3} L_{cm} \varphi \right) \right]. \quad (3)$$

В формуле (3) гидростатическая сила при постоянной скорости v приближенно определяется по выражению

$$\Delta_1 = (1/2) \rho g \delta \varphi B (L_{cm})^2.$$

Для того чтобы вычислить угол дифферента φ и смоченную длину судна по скуле L_{cm} , необходимо определить следующие вспомогательные величины:

1) коэффициент момента гидродинамических сил

$$m_\Delta \approx \frac{x_g}{B},$$

где x_g – абсцисса центра тяжести от транца судна, м;

2) число Фруда по ширине судна

$$Fr_B = \frac{v}{\sqrt{gB}},$$

где v – скорость судна, м/с;

3) коэффициент динамической нагрузки

$$C_B = \frac{\Delta_0}{\rho \frac{v^2}{2} B^2};$$

4) относительное удлинение смоченной поверхности плоской пластины $\lambda_{пл}$, которое можно определить в зависимости от m_Δ и Fr_B :

$$\lambda_{пл} = b_1 + b_2 m_\Delta + b_3 (m_\Delta)^2 + b_4 Fr_B + b_5 Fr_B m_\Delta + b_6 Fr_B (m_\Delta)^2 + b_7 (Fr_B)^2 + b_8 (Fr_B)^2 m_\Delta + b_9 (Fr_B)^2 (m_\Delta)^2.$$

В результате аппроксимации методом наименьших квадратов получим коэффициенты:

$$b_1 = 0,3824925; b_2 = -0,394756; b_3 = 1,618858; b_4 = -0,042486; b_5 = 0,4330774; b_6 = -0,544165; b_7 = -0,004427; b_8 = -0,023358; b_9 = 0,045620;$$

5) относительное удлинение смоченной поверхности судна λ_β с учетом влияния угла внешней килеватости β_Θ

$$\lambda_\beta = (\lambda_{пл})^{0,8} \frac{1}{\cos \beta_\Theta} \left[1 - 0,29 (\sin \beta_\Theta)^{0,28} \right] \times \left[1 + 1,35 (\sin \beta_\Theta)^{0,44} \frac{m_\Delta}{\sqrt{Fr_B}} \right];$$

6) отношение коэффициента динамической нагрузки C_B к углу дифферента φ пластины $\left(\frac{C_B}{\varphi} \right)_{пл}$, которое можно определить в зависимости от λ и Fr_B :

$$\left(\frac{C_B}{\varphi} \right)_{пл} = c_1 + c_2 \lambda + c_3 \lambda^2 + c_4 Fr_B + c_5 Fr_B \lambda + c_6 Fr_B \lambda^2 + c_7 (Fr_B)^2 + c_8 (Fr_B)^2 \lambda + c_9 (Fr_B)^2 \lambda^2.$$

В результате аппроксимации методом наименьших квадратов получим коэффициенты:

$$c_1 = -1,636911; c_2 = 1,778105; c_3 = 0,099409; c_4 = 0,963162; c_5 = -0,638646; c_6 = -0,012005; c_7 = -0,078344; c_8 = 0,054015; c_9 = 0,0003920;$$

Угол дифферента пластины $\varphi_{пл}$ рассчитывается по формуле

$$\varphi_{пл} = C_B / \left(\frac{C_B}{\varphi} \right)_{пл}.$$

Тогда угол дифферента судна φ с учетом влияния угла внешней килеватости определится как сумма угла дифферента пластины $\varphi_{пл}$ и поправки от влияния угла внешней килеватости β_Θ по выражению

$$\varphi = \varphi_{пл} + \left[\frac{0,15 (\sin \beta_\Theta)^{0,8}}{(Fr_B)^{0,3}} \right] \left[\frac{1 - 0,17 \sqrt{\lambda_\beta \cos \beta_\Theta}}{\sqrt{\lambda_\beta \cos \beta_\Theta}} \right].$$

Смоченная длина судна по скуле

$$L_{cm} = \lambda_\beta B.$$

Метацентрическая высота при водоизмещении D

$$h_1 = Z_{c1} + r_1 - Z_g,$$

где Z_{c1} , r_1 – соответственно аппликата ЦВ и поперечный метацентрический радиус при осадке $T_1 = \frac{D_1}{\rho \delta L B}$.

Значения Z_{c1} и r_1 определяются по формулам

$$Z_{c1} = \frac{\alpha}{\alpha + \delta} T_1; \quad r_1 = \frac{\alpha^2}{11,4\delta} \left(\frac{B^2}{T_1} \right),$$

где α – коэффициент полноты конструктивной ватерлинии судна; δ – коэффициент общей полноты судна.

Безразмерный коэффициент $\left(\frac{\partial C_{yp}}{\partial \beta} \right) = \frac{k_0(2\pi)}{1 + \frac{2}{\lambda_p}}$,

где $k_0 = 0,84$ – для подвешного руля; $k_0 = 0,64$ для полуподвешного руля; $\lambda_p = 1...2$ – удлинение руля.

Угол дрейфа вычисляется по выражению

$$\psi = \frac{P l_p}{\left(\frac{\partial C_y}{\partial \psi} \right) \left(\frac{D}{\rho} \right)^{2/3} \frac{\rho v^2}{2} (l_k - l_r)},$$

где $P = \frac{R}{\rho v}$ – упор (R – полное сопротивление движению судна); l_p – плечо момента упора, примем 0,5 м;

$l_k = \frac{L}{2} - x_c$ – плечо гидродинамического момента

силы на корпусе судна; $l_r \approx \frac{L}{2}$ – плечо силы на рулях;

коэффициент $\left(\frac{\partial C_y}{\partial \psi} \right)$ в результате аппроксимации определяется по формуле

$$\left(\frac{\partial C_y}{\partial \psi} \right) = 2,6e^{-0,67F_{rB}}.$$

Угол перекадки руля рассчитывается по выражению

$$\beta = \psi \left[1 + \frac{\left(\frac{\partial C_y}{\partial \psi} \right) \left(\frac{D}{\rho} \right)^{2/3}}{\left(\frac{\partial C_{yp}}{\partial \beta} \right) S_p} \right],$$

где $S_p = (0,013...0,019) LT$ – площадь руля, м²;

Ходовой угол крена

$$\theta_x = \frac{P_B S_n Z_n}{20 D h_0},$$

где $P_B = 0,07...0,1$ кПа – удельное давление ветра; S_n – площадь парусности, м²; Z_n – вертикальное расстояние от центра площади парусности к плоскости ватерлинии, м.

ВЫВОДЫ

1. Определены характеристики начальной поперечной остойчивости однокорпусных быстроходных судов, эксплуатирующихся в переходном режиме.

2. Рекомендуется использовать изложенную методику определения характеристик начальной поперечной остойчивости однокорпусных быстроходных судов в качестве расчетной для оценки начальной остойчивости в математической модели таких судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Войткунский, Я. И.** Справочник по теории корабля: в 3 т. Т. 2. Статика судов. Качка судов [Текст] / Я. И. Войткунский. – Л. : Судостроение, 1985. – 440 с.
- [2] **Егоров, И. Т.** Ходкость и мореходность глиссирующих судов [Текст] / И. Т. Егоров, М. М. Буньков, Ю. М. Садовников. – Л. : Судостроение, 1978. – 336 с.
- [3] **Rawson, K. J.** Basic Ship Theory [Text] / K. J. Rawson, E.C. Tupper // Butterworth Heinemann, Vol. 1, Chap. 1 to 9. Hydrostatics and Strength. – 2001. – 400 p.

© Нгуен Гуй Хоанг

Надійшла до редколегії 04.03.13

Статтю рекомендує до друку
д-р техн. наук, проф. О. І. Соломенцев