

Бондаренко А. В., Клева Я. А., Шестопап В. П.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

УТОЧНЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННЫХ ФОРМУЛ РАСЧЕТА ДИАГРАММЫ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ ЛОЦМАНСКИХ КАТЕРОВ

УДК 629.5.012

Расчеты остойчивости являются одним из ключевых этапов проектирования судна, обеспечивающих заданные проектные характеристики и безопасность эксплуатации. При оценке параметров диаграммы статической остойчивости (ДСО) на ранних стадиях работы над проектом лоцманского катера (ЛК) необходимо учитывать условия эксплуатации и жесткие требования классификационных обществ для малых судов [1].

Методы, используемые для прогнозирования остойчивости целесообразно представить в виде следующих категорий:

1. Пересчета характеристик остойчивости, с использованием аффинного подобия проекта и прототипа [2,3]
2. Комбинации (сочетания) метода аффинных преобразований и дифференциального метода в функции безразмерных характеристик корпуса [4,5];
3. Прямого расчета плеч остойчивости по приближенным формулам [6,7].

Недостатком расчетных методик (1,2) является требование наличия теоретического чертежа, сохранения подобия коэффициентов полноты и отношения D/d и привязанность к определенному типу судна.

Широко используемые проектантами методы прямого расчета плеч являются наиболее приемлемыми на стадии концептуального проектирования. Для расчета параметров ДСО на этой стадии наибольшее распространение получили приближенные формулы Заботкина, Власова, Благовещенского [6]. Расчетные методики, применяемые для больших судов, не всегда приемлемы для предварительной оценки остойчивости малых скоростных катеров. Таким образом, для возможности использования аналитических зависимостей [6,7] необходимо уточнить значения эмпирических коэффициентов, входящих в состав приближенных формул.

Как известно, при оценке остойчивости на больших углах крена основная трудоемкость связана с определением плеч остойчивости формы I_{ϕ} , необходимых для дальнейшего расчета плеч статической остойчивости $I_{cm}(GZ)$. Одним из наиболее распространенных и надежных является расчет по приближенной формуле Власова – Благовещенского [7]:

$$I_{\phi} = y_{c_{90}} f_1(\theta) + (Z_{c_{90}} - Z_{c_0}) f_2(\theta) + r_0 f_3(\theta) + r_{90} f_4(\theta), \quad (1)$$

$$I_{cm} = y_{c_{90}} f_1(\theta) + (Z_{c_{90}} - Z_{c_0}) f_2(\theta) + r_0 f_3(\theta) + r_{90} f_4(\theta) - (z_{g_0} - z_{c_0}) \sin \theta, \quad (2)$$

где $y_{c_{90}}$ и $Z_{c_{90}}$ – координаты центра величины (ЦВ) при наклонении судна на 90° ; r_0 и r_{90} – метацентрические радиусы в прямом (начальном) положении судна и при наклонении судна на 90° ; Z_{c_0} – аппликата ЦВ в прямом (начальном) положении судна; z_{g_0} – аппликата центра тяжести ЦТ в прямом положении судна; $Z_{g_0} - Z_{c_0}$ – эксцентриситет; $f_1(\theta) - f_4(\theta)$ – линейные комбинации тригонометрических функций угла крена.

Функции $f_1(\theta) - f_4(\theta)$ определяются по таблицам [6,7]; значения $y_{c_{90}}$, $Z_{c_{90}} - Z_{c_0}$ вычисляются по формулам Поздюнина В.Л. [6]:

$$y_{c_{90}} = 0,50 \left(1 - 0,96 \frac{d}{D_1} \right) B, \quad (3)$$

$$Z_{c_{90}} - Z_{c_0} = 0,64 \left(1 - 1,03 \frac{d}{D_1} \right) D_1, \quad (4)$$

где D_1 – приведенная высота борта:

$$D_1 = \left(1 + \frac{\delta V_H}{\alpha V_H} \right) D, \quad (5)$$

Использование традиционных приближенных зависимостей для лоцманских катеров возможно лишь после уточнения (корректировки) величин эмпирических коэффициентов $\kappa_y = 0,50$ и $\kappa_z = 0,64$, входящих в выражения для $y_{c_{90}}$ и $Z_{c_{90}} - Z_{c_0}$.

В качестве исходной формулы, для которой был произведен пересчет величин $u_{c_{90}}$ и $Z_{c_{90}} - Z_{c_0}$ авторами рассмотрена формула (1).

Для трех украинских лоцманских катеров (соблюдая требования конфиденциальности, обозначим их как ЛК1, ЛК2, ЛК3) были известны фактические (точные) значения элементов ДСО. Таким образом, появилась возможность сравнения достоверных значений с величинами, полученными в результате расчета ДСО по приближенной формуле (1). В качестве исходных данных были использованы следующие величины: $L, B, D, d, V, X_c (LCG), Z_c (VCB), S (A_{wl}), X_f (LCF), I_x, r (BM_t), C_b, C_{wp}, C_m, Z_g (VCG), h (GM_t)$.

Для остальных проектов (SportFisher, Double China, Patrol 27 м, WT35) расчеты параметров ДСО были выполнены в программном модуле RhinoMarine 4.0 от Proteus Engineering. Схема расчета, предлагаемая данным ПО позволяет получить достоверные результаты с высокой точностью, по сравнению с традиционными методами ручного расчета остойчивости. Этот алгоритм работает с исходной поверхностью корпуса, отсутствуют потери точности за счет переноса ординат, возможен расчет пространственных накрений, обеспечивается оперативное получение гидростатических характеристик при редактировании формы корпуса.

В процессе решения поставленной задачи авторами:

- в Excel построены ДСО для реальных ЛК (3 проекта) по достоверным данным украинских конструкторских бюро;
- в RhinoMarine 4.0 получены ДСО для 4-х проектов малых катеров с использованием информации о характеристиках данных судов, опубликованной во Freeship;
- осуществлен расчет I_{ϕ} по приближенной формуле Власова–Благовещенского для всех 7-ми рассматриваемых проектов и построены соответствующие ДСО в Excel;
- проведен сравнительный анализ фактических (точных) ДСО и ДСО, рассчитанных с помощью приближенных формул;
- из условия максимального совпадения формы точных ДСО с приближенными (путем сравнения полученных диаграмм в Excel) были

получены новые уточненные значения k_y и k_z (табл.1.) для расчета значений по формулам (3) и (4).

Таблица 1

Эмпирические коэффициенты	Название катера						
	ЛК1	ЛК2	ЛК3	Sport fisher	Double China	Patrol 27 м	WT35
k_y	0,560	0,390	0,770	0,440	0,500	0,600	0,520
k_z	0,997	0,390	0,820	0,420	0,485	0,880	0,400

В результате статистической обработки массива полученных коэффициентов k_y и k_z получаем простые формулы для прогнозирования остойчивости ЛК или малых скоростных катеров. Анализ пересчета позволяет вывести среднеквадратичное значение k_y и k_z для формул (3,4), с целью получения адекватных расчетов I_{ϕ} по формуле Власова – Благовещенского (1) применительно к лоцманским катерам.

Выводы. На основании выполненных расчетов плеч формы по приближенным формулам Власова-Благовещенского для 7 реальных катеров осуществлен сравнительный анализ приближенных ДСО с фактическими ДСО. Рассчитаны уточненные значения эмпирических коэффициентов, входящих в состав исходной формулы для I_{ϕ} . В результате выполненных исследований расширен диапазон применимости формулы Власова – Благовещенского. Авторы рекомендуют использовать полученные зависимости для оценки элементов остойчивости на ранних стадиях проектирования для ЛК.

Список использованной литературы.

1. Правила классификации и постройки малых судов. Регистр судоходства Украины. – Киев. – 2002. – Т. 1–4.
2. Ашик, В.В. Проектирование судов [Текст] / В.В. Ашик. – Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.

3. Ногид, Л.М. Теория проектирования судов [Текст] /Л.М. Ногид – Л.: Судпромгиз, 1955. – 480 с.
4. Раков А.И., Жибоедов В.В., Совместное решение задачи проектирования с использованием метода аффинных преобразований в сочетании с дифференциальным методом в функции безразмерных параметров формы корпуса// Инновации в судостроении и океанотехнике: Материалы III международной научно-технической конференции. – Николаев; НУК, 2011. – С. 36 – 40.
5. Раков А.И. Влияние безразмерных параметров формы корпуса на диаграмму статической остойчивости проектируемого судна [Текст] / А.И. Раков, В.В. Жибоедов // Весник СевГТУ, Вып. № 119: Механика, енергетика, екологія: сб. науч. тр. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011, – С. 178 – 185.
6. Семенов-Тян-Шанский, Н.Б. Статика и динамика корабля [Текст] / Н.Б. Семенов-Тян-Шанский. – Л.: Судостроение, 1973. – 608с.
7. Справочник по теории корабля: В трех томах. Т.2: Статика судов. Качка судов [Текст] / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 443 с.