

УДК 629.12.001

А.И. Раков, проф., д-р техн. наук,

А.В. Кузьмина, ст. преподаватель,

М.Г. Балашов, ст. преподаватель

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

mbal@lik-info.com

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БУКСИРНЫХ СУДОВ

Рассматривая особенности определения водоизмещения буксирных судов, оценена погрешность уравнения масс в дифференциальной форме. Для повышения точности расчетов предлагается массы механизмов и запасов топлива определять независимо от водоизмещения проектируемого судна.

При разработке проекта буксирных судов первым этапом является определение его водоизмещения. Одним из методов решения задачи является использование судов-прототипов. От "качества" подобранного прототипа буксирного судна во многом зависит точность решения поставленной задачи.

Уравнение масс буксирного судна [1] выразим в виде

$$D = P_K + P_M + P_T + P_{CC}, \quad (1)$$

где P_K – масса корпуса с оборудованием, т; P_M – масса энергетической установки, т; P_T – масса запасов топлива, т; P_{CC} – масса судового снабжения, т.

В общем же случае уравнение масс можно представить [1] в виде

$$D = P_{(D)} + P_{HЗ}, \quad (2)$$

где $P_{(D)}$ – массы, определяемые в функции водоизмещения проектируемого судна; $P_{HЗ}$ – массы определяемые, как независимые от водоизмещения проектируемого судна.

Применительно к рассматриваемой задаче примем

$$P_K = a_K \cdot D; P_M = p_M \cdot N; P_T = \kappa_M \cdot \tau \cdot p_T \cdot N,$$

где a_K – измеритель массы корпуса с оборудованием, определяемый по данным нагрузки близких судов-прототипов; p_M – измеритель массы энергетической установки, т/кВт; N – мощность главного двигателя судна, кВт; κ_M – коэффициент морского запаса; τ – автономность плавания, сут; p_T – удельный расход топлива, т/кВт-сут.

В расчете нагрузки проектируемого судна масса судового снабжения P_{CC} , включая массу экипажа с багажом, обычно определяется по соответ-

ствующим нормам для каждого типа буксирных судов, с учетом района и автономности плавания. Поэтому раздел нагрузки P_{CC} в уравнении масс (2) обычно включают в раздел независимых масс P_{H3} .

Для определения мощности энергетической установки на ранних стадиях проектирования примем формулу вида [1]

$$N = \frac{D^{0.5} \cdot V_S^{2.5}}{C},$$

где C – коэффициент, величина которого имеет сравнительно устойчивое значение и определяется по данным близких судов-прототипов; V_S – скорость свободного хода, уз.

В этом случае уравнение масс (1) примет вид

$$D = a_K \cdot D + p_M \cdot \frac{D^{0.5} \cdot V_S^{2.5}}{C} + \kappa_M \cdot \tau \cdot P_T \cdot \frac{D^{0.5} \cdot V_S^{2.5}}{C} + P_{H3}.$$

В таблице 1 приведены основные разделы укрупненной нагрузки ряда буксирных судов. Данные таблицы 1 заимствованы из работы [2]. Принято $P_K = K_P + C_T$; $P_M = M_{ш} + \mathcal{E}_л$; $P_{CC} = C_{ш}$; $P_T = T_{ш}$.

Представим уравнение масс в дифференциальной форме

$$\Delta D \approx dD = \eta_H \cdot \left(\frac{2,5 \cdot (P_M + P_T)}{V_S} \cdot dV_S + \frac{P_T}{\tau} \cdot d\tau + dP_{H3} \right),$$

где
$$\eta_H = \frac{1}{1 - \frac{P_K}{D} - \frac{1}{2} \cdot \frac{P_M + P_T}{D}}.$$

Таблица 1 – Характеристики буксирных судов

Наименование судов, класс лед.подкрепл.	N, кВт	Do, т	Vs, уз.	Pк, т	Pм, т	Pт, т	Pсс, т
1. Голиаф, УЛ	1618	1220	15,0	557	227	211	81
2. Атлант, УЛ	1618	1205	14,4	608	204	332	33
3. Иван Плюсин, УЛ	1470	935	13,0	504	182	170	50
4. Стремительный, УЛ	882	772	12,8	422	115	182	40
5. Кутузов, Л	882	470	12,5	245	111	76	27

Продолжение таблицы 1

6. Сатурн, УЛ	882	303	12,0	174	70	40	6
7. Рейд, УЛ	441	186	10,5	109	47	19	3
8. Марс	441	170	9,5	92	48	20	3
9. Крепыш, Л	220	63	10,0	40	13	7	2
10. Олег Кошевой, Л	220	53	9,5	33	11	6	2
11. Прибой, Л	220	43	10,0	25	7	9	2

Пример. Определить водоизмещение проектируемого судна по техническому заданию: $P_{H3} = P_{CC} = 27$ т; $P_M = 111$ т; $P_T = 76$ т; $N = 882$ кВт; $V_s = 12,5$ уз.; $\tau = 12,3$ сут. (данные технического задания соответствуют характеристикам буксира "Кутузов" из таблицы 1).

В качестве судна-прототипа принят буксир "Стремительный" (см. таблицу 1), имеющий данные:

$$D_0 = 772 \text{ т}; P_{M_0} = 155 \text{ т}; P_{T_0} = 182 \text{ т}; P_{K_0} = 422 \text{ т}; P_{H3_0} = P_{CC} = 40 \text{ т};$$

$$V_s = 12,8 \text{ уз.}; \tau_0 = 29,5 \text{ сут.}; N = 882 \text{ кВт.}$$

Решение.

$$\eta_H = \frac{1}{1 - \frac{422}{772} - \frac{1}{2} \cdot \frac{115 + 182}{772}} = 3,83; \quad dP_{H3} = 27 - 40 = -13 \text{ т};$$

$$dV_s = 12,5 - 12,8 = -0,3 \text{ уз.}; \quad dt = 12,3 - 29,5 = -17,2 \text{ сут.}$$

$$\Delta D = 3,83 \cdot \left(\frac{2,5 \cdot (115 + 182)}{12,8} \cdot (-0,3) + \frac{182}{29,5} \cdot (-17,2) - 13 \right) = -521 \text{ т.}$$

$$D = 772 - 521 = 251 \text{ т.}$$

Фактически $D = 470$ т (см. таблицу 1, буксир "Кутузов"). Ошибка

$$\Delta = \frac{251 - 470}{470} \cdot 100 = -46,6 \text{ \%}.$$

Отметим, что проектируемое судно (буксир "Кутузов") и судно-прототип "Стремительный" имеют одинаковую мощность $N = 882$ кВт, тем не менее ошибка при определении водоизмещения имеет весьма большую величину.

Еще в работе [1] В.В. Ашик отмечал, что при проектировании буксиров и толкачей обычно задается их мощность. В этом случае масса $P_M = p_M \cdot N$ и масса $P_T = p_T \cdot \kappa_M \cdot \tau \cdot N$ становятся независимыми от водоизмещения величинами. Тогда

$$P_{H3} = P_M + P_T + P_{CC}. \quad (3)$$

Уравнения масс в этом случае примет вид

$$D = P_K + P_{H3}.$$

Соответственно коэффициент Нормана определится как

$$\eta_H = \frac{1}{1 - \frac{P_K}{D}}. \quad (4)$$

Таким образом, для рассматриваемого выше примера коэффициент

Нормана (4) определится
$$\eta_H = \frac{1}{1 - \frac{422}{772}} = 2,21.$$

Независимые массы проекта (3) $P_{H3} = 111 + 76 + 27 = 214$ т.

Независимые массы прототипа $P_{H3} = 115 + 182 + 40 = 337$ т.

Соответственно $\Delta P_{H3} = 214 - 337 = -123$ т.

Приращение водоизмещения будет равно

$$\Delta D = \eta_H \cdot \Delta P_{H3} = 2,21 \cdot (-123) = -272 \text{ т.}$$

Водоизмещение проектируемого судна равно

$$D = D_0 + \Delta D = 772 - 272 = 500 \text{ т.}$$

Итак: ошибка $\Delta = \frac{500 - 470}{470} \cdot 100 = 6,4\%$.

Для повышения точности расчетов в дальнейшем использовался метод последовательных приближений (итераций). Учитывая, что водоизмещение судов-прототипов часто существенно отличается от водоизмещения проектируемого судна (в данном случае $D_0 = 772$ т и $D = 470$ т, т.е. на 62,3 %) по данным таблицы 1 построен график $a_K = f(D)$, изображенный на рисунке 1. Уравнение прямой, показанной на графике, имеет вид

$$a_K = 0,6 - \frac{D}{11000}. \quad (5)$$

Отмеченные точками на рисунке 1 значения a_K для ряда буксирных судов свидетельствуют о том, что принятая зависимость (5) достаточно хорошо отображает качественную сторону изменения относительной массы корпуса с оборудованием при увеличении водоизмещения судна. По данным конкретных проектов судов [2] количественная оценка относительной ошибки величины a_K , вычисленной по формуле (5), приводится в таблице 2.

Второе приближение состоит в следующем.

Определим значения a_K по формуле (5) $a_K = 0,6 - \frac{500}{11000} = 0,554$.

Соответственно, коэффициент Нормана определится

$$\eta_H = \frac{1}{1 - 0,554} = 2,24.$$

Масса корпуса с оборудованием будет равна

$$P_{K_0} = a_K \cdot D = 0,554 \cdot 500 = 277 \text{ т.}$$

Независимые массы судна-прототипа

$$P_{H3_0} = D - P_{K_0} = 500 - 277 = 223 \text{ т.}$$

Приращение независимых масс определим как

$$\Delta P_{H3} = P_{H3} - P_{H3_0} = 214 - 223 = -9 \text{ т.}$$

Приращение водоизмещения проектируемого судна будет равно

$$\Delta D = \eta_H \cdot \Delta P_{H3} = 2,24 \cdot (-9) = -20 \text{ т.}$$

Водоизмещение проектируемого судна во втором приближении будет равно

$$D = D_0 + \Delta D = 500 - 20 = 480 \text{ т. Ошибка } \Delta = \frac{480 - 470}{470} \cdot 100 = 2,1\% .$$

Выполним третье (контрольное) приближение

$$a_K = 0,6 - \frac{480}{11000} = 0,556; \eta_H = \frac{1}{1 - 0,556} = 2,30; P_{K_0} = 0,556 \cdot 480 = 267 \text{ т;}$$

$$P_{H3_0} = 480 - 267 = 213 \text{ т; } \Delta P_{H3} = 214 - 213 = 1 \text{ т; } \Delta D = 2,3 \cdot 1 = 2 \text{ т;}$$

$$D = 480 + 2 = 482 \text{ т.}$$

Итак, третье (контрольное) приближение показывает хорошую сходимость ряда.

$$\text{Ошибка при этом } \Delta = \frac{482 - 470}{470} \cdot 100 = 2,5\% .$$

В таблице 2 представлены значения водоизмещения проектируемого судна (при вышеуказанном техническом задании (буксир "Кутузов") для ряда судов-прототипов), определяемые по изложенной методике. Из полученных данных таблицы 2 следует, что водоизмещение проектируемого судна определяется достаточно точно.

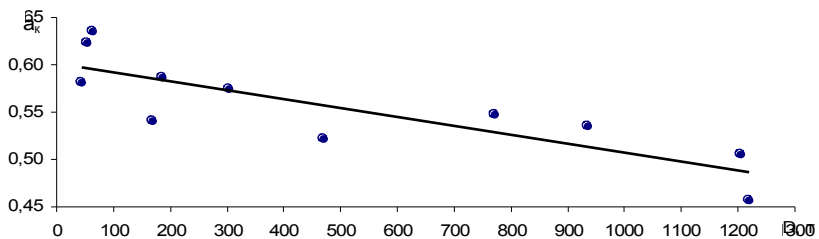


Рисунок 1 - Зависимость $a_K=f(D)$

Таблица 2 – Значения массы корпуса с оборудованием Рк

Наименование судов, класс ледовых подкреплений	D_0 , т	P_K , т	$a_K = \frac{P_K}{D}$	a_R по (12)	Δ , % ошиб- ка a_R	ΔD , т	D , т прое- кт	Δ , % ошиб- ка D
1. Голиаф, УЛ	1220	557	0,457	0,486	7,0	-739	481	2,3

2. Атлант, УЛ	1205	608	0,505	0,491	-2,9	-723	482	2,5
3. Иван Плюснин, УЛ	935	504	0,535	0,515	-4,4	-453	482	2,5
4. Стремительный, УЛ	772	422	0,547	0,530	-3,1	-290	482	2,5
5. Кутузов, Л	470	245	0,521	0,557	7,0	0	470	0
6. Сатурн, УЛ	303	174	0,574	0,573	-0,2	178	481	2,3
7. Рейд, УЛ	186	109	0,586	0,583	-0,5	299,5	482,5	2,7
8. Марс	170	92	0,541	0,584	8,0	312	482	2,5
9. Крепыш, Л	63	40	0,635	0,594	-6,4	305	475	1,1
10. Олег Кошевой, Л	53	33	0,623	0,595	-4,5	430	483	2,8
11. Прибой, Л	43	25	0,581	0,596	2,6	439	482	2,5

Выводы.

1. Уравнения масс в дифференциальной форме дает большую погрешность для буксирных судов.

2. Для повышения точности расчетов целесообразно массы механизмов и запаса топлива определить независимо от водоизмещения проектируемого судна.

3. Накапливая статистику по судам-прототипам, целесообразно периодически корректировать уравнение (5), характеризующее относительную массу корпуса с оборудованием в составе водоизмещения проектируемого судна.

Библиографический список

1. Ашик В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик. — Л.: Судостроение, 1985. — 318 с.

2. Буксирные суда / Б.В.Богданов, А.В.Слущкий, М.Г.Шмаков и др. — Л.: Судостроение, 1974. — 280 с.

Поступила в редакцию 24.05.2004 г.