

УДК 629.5

**О.С. Московко, аспірант,**

**О.В. Бондаренко, доцент, канд. техн. наук**

*Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова  
проспект Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, Україна, 54025*

## **АНАЛІЗ ТА УТОЧНЕННЯ ФОРМУЛ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ РОЗДІЛІВ НАВАНТАЖЕННЯ МАС УНІВЕРСАЛЬНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ СУДЕН**

*Проаналізовано та уточнено формули для розрахунку розділів навантаження мас універсальних науково-дослідних суден.*

**Ключові слова:** універсальне науково-дослідне судно, навантаження мас, водотоннажність, дедвейт.

Однією з найважливіших задач розробки математичної моделі вибору характеристик універсального науково-дослідного судна (УНДС) на початкових етапах проектування є встановлення надійних зв'язків між розділами навантаження мас судна з його розмірами, формою корпусу, швидкістю, дальністю плавання, а також вимогами та нормами, згідно яких проектувалося судно. Знаючи навантаження мас судна, можна визначити його повну водотоннажність  $\Delta$ , коли судно повністю завантажене паливом і постачанням, а також водотоннажність порожнем  $\Delta_{\text{пор}}$

$$\Delta_{\text{пор}} = \Delta - DW,$$

де  $DW$  – дедвейт – різниця між повною водотоннажністю та водотоннажністю порожнем, що знаходиться за формулою [1]:

$$DW = P_{\text{п}} + P_{\text{м}} + P_{\text{пв}} + P_{\text{ек}} + P_{\text{пр}},$$

де  $P_{\text{п}}$  – маса палива;  $P_{\text{м}}$  – маса мастила;  $P_{\text{пв}}$  – маса питної води;  $P_{\text{ек}}$  – маса екіпажу та науковців;  $P_{\text{пр}}$  – маса провізії.

Масу палива можна обчислити за залежністю:  $P_{\text{п}} = SFC \cdot MCR \cdot \frac{Z}{v_s} (1 + K_m)$ , де  $SFC$  – питомі витрати палива, т/кВт-год;  $MCR$  – максимальна довготривала потужність двигуна, кВт;  $Z$  – дальність плавання, миль;  $v_s$  – швидкість судна, вуз;  $K_m = 0,1$ .

Маса мастила становить 5 % від маси палива, тобто  $P_{\text{м}} = 0,05P_{\text{п}}$ .

Масу питної води, згідно санітарних норм та правил, визначають з розрахунку 0,15 т питної води на одну людину за добу:  $P_{\text{пв}} = 0,17(n_{\text{ек}} + n_{\text{нк}}) \cdot A$ , де  $n_{\text{ек}}$  – кількість екіпажу, чол;  $n_{\text{нк}}$  – кількість науковців, чол;  $A$  – автономність плавання, діб.

Масу екіпажу та науковців разом з їхніми речами обчислюють з розрахунку 0,17 т на одну людину:

$$P_{\text{ек}} = 0,17(n_{\text{ек}} + n_{\text{нк}}).$$

Маса провізії, з розрахунку 0,01 т провізії на одну людину за добу, становить:

$$P_{\text{пр}} = 0,01(n_{\text{ек}} + n_{\text{нк}}) \cdot A.$$

Далі знаходимо водотоннажність порожнем, що згідно [2] складається з наступних укрупнених розділів:

$$\Delta_{\text{пор}} = P_{\text{к}} + P_{\text{об}} + P_{\text{еу}} + P_{\text{зв}},$$

де  $P_{\text{к}}$  – маса корпусу судна з надбудовою;  $P_{\text{об}}$  – маса обладнання, включаючи й наукове обладнання;  $P_{\text{еу}}$  – маса енергетичної установки;  $P_{\text{зв}}$  – запас водотоннажності.

Для аналізу розрахункових формул були обрані залежності, що представлені у таблицях 1 – 3.

Проаналізувавши відомі формули, які можна застосовувати для розрахунку складових мас порожнем [1, 2], було встановлено залежності для визначення їх основних розділів. Ці формули були обрані шляхом порівняння відомих значень розділів навантаження мас для нещодавно побудованих УНДС з розрахованими. Для порівняння були обрані наступні УНДС: "Sikuliaq" – Alaska Region Research Vessel (США), Regional Class Research Vessel (США) та "Академик Трешников" (Росія) [3, 4].

Таблиця 1 – Розрахункові формули для аналізу по розділу навантаження мас "Корпус"

Корпус			
$P_k = 0,14LDk_{\text{пал}} + k_1 + k_2$		$P_k = 0,52\Delta + k_1 + k_2$	
RCRV	0,61	RCRV	19,83
ARRV	9,32	ARRV	24,94
Академик Трешников	6,76	Академик Трешников	24,29
$P_k = W_{s7} [1 + 0,5(C_{b1} - 0,7)] + k_1 + k_2$		$P_k = 0,0832xe^{-5,73 \times 10^{-7}} + k_1 + k_2$	
RCRV	9,17	RCRV	20,79
ARRV	9,09	ARRV	16,82
Академик Трешников	12,85	Академик Трешников	18,22
$P_k = C_b^{\frac{2}{3}} \frac{LB}{6} D^{0,72} \left[ 0,002 \left( \frac{L}{D} \right)^2 + 1 \right] + k_1 + k_2$		$P_k = (LBD) \cdot C_s + k_1 + k_2$	
RCRV	15,65	RCRV	20,57
ARRV	14,79	ARRV	7,15
Академик Трешников	18,78	Академик Трешников	57,71

Таблиця 2 – Розрахункові формули для аналізу по розділу навантаження мас "Обладнання"

Обладнання			
$P_{об} = 0,05 \cdot \Delta$		$P_{об} = LBD^{\frac{2}{3}} \cdot C$	
RCRV	26,83	RCRV	45,38
ARRV	19,27	ARRV	52,63
Академик Трешников	20,89	Академик Трешников	60,3
$P_{об} = C_o LB$		$P_{об} = P_k^{\frac{2}{3}} \cdot C$	
RCRV	9,67	RCRV	32,21
ARRV	6,78	ARRV	41,02
Академик Трешников	14,87	Академик Трешников	65,84

Таблиця 3 – Розрахункові формули для аналізу по розділу навантаження мас "Енергетична установка"

Енергетична установка			
$P_{ey} = 0,72 \cdot (MCR)^{0,78}$		$P_{ey} = \sum q_i (MCR) + C_m (MCR)^{0,7}$	
RCRV	30,88	RCRV	10,08
ARRV	68,38	ARRV	4,93
Академик Трешников	35,35	Академик Трешников	16,72
$P_{ey} = \sum_i^n (q_i^{ГД} N_{e_i}^{ГД}) + \sum_j^k (q_j^P N_{e_j}^P) + N_e (q_M^{ВП} + q_M^{ВМ} + q_M^{ТР} + q_M^{ТОА} + q_M^{САР})$			
RCRV	61,27		
ARRV	46,32		
Академик Трешников	41,64		

Масу металевго корпуса, що є одним з найвагомiших роздiлiв навантаження мас, i точнiсть визначення якої, суттєво впливатиме на точнiсть значення водотоннажностi порожнем, можна обчислити за наступною формулою:

$$P_k = W_{s7} [1 + 0,5(C_{b1} - 0,7)] + k_1 + k_2,$$

де  $W_{s7}$  – маса сталі відносно коефіцієнта загальної повноти, що може бути визначена за залежністю:

$$W_{s7} = KE^{1,36},$$

де  $K$  – коефіцієнт, що обирається за типом судна;  $E$  – модуль перерахунку, що може бути визначений за виразом:

$$E = L \cdot (B + d) + 0,85 \cdot L \cdot (D - d) + 0,85 \sum l_1 h_1 + 0,75 \sum l_2 h_2,$$

де  $l_1$  та  $h_1$  – відповідно довжина та ширина ярусів надбудови, ширина яких є продовженням борту судна, м;  $l_2$  та  $h_2$  – відповідно висота та ширина рубки, м;  $L$  – довжина судна, м;  $B$  – ширина судна, м;  $d$  – осадка судна, м;  $D$  – висота борту судна, м.  $C_{b1}$  – параметр для уточнення коефіцієнта загальної повноти, що може бути обчислений за формулою:

$$C_{b1} = C_b + (1 - C_b) \left( \frac{0,8D - d}{3d} \right);$$

$k_1$  – коефіцієнт льодового підкріплення корпусу судна;  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує наявність високоміцної сталі.

Масу обладнання розраховуємо за наступним виразом:  $P_{об} = C_o LB$ , де  $C_o$  – коефіцієнт, що обирається за довжиною судна між перпендикулярами та відношенням  $L/B$ .

Маса енергетичної установки обчислюється для головного двигуна з його допоміжними механізмами, дизель-генератором, платформою головного розподільного щита та аварійним дизель-генератором.

Так як на більшості УНДС застосовується дизель-електрична установка, то для її розрахунку обрано наступну залежність:

$$P_{ey} = \sum q_i (MCR) + C_m (MCR)^{0,7},$$

де  $q_i$  – питома маса двигуна, кг/кВт;  $MCR$  – максимальна довготривала потужність двигуна, кВт;  $C_m$  – коефіцієнт, що обирається за типом судна, кг/кВт;  $i$  – кількість двигунів.

Запас водотоннажності визначається за формулою:  $P_{зв} = 0,05 \Delta_{пор}$

У таблиці 4 наведено результати розрахунку  $\Delta_{пор}$  для деяких універсальних науково-дослідних суден за обраними залежностями, а також похибки, що були отримані у порівнянні з дійсними значеннями  $\Delta_{пор}$ .

Таблиця 4 – Розрахунок водотоннажності порожнем для УНДС

№ з/п	УНДС	$P_k$	$P_{об}$	$P_{ey}$	$\Delta_{пор}^{розраховане}$	$\Delta_{пор}$	Похибка, %
1	Oregon II	394,70	299,46	44,93	739,09	670,00	9,35
2	RCRV	479,30	322,94	43,68	845,92	815,23	3,63
3	Академик Н. Страхов	1150,33	665,91	143,79	1960,03	1740,00	11,23
4	Ronald H. Brown	1312,84	792,10	137,87	2242,81	1918,00	14,48
5	Neil Armstrong	1229,77	641,03	153,50	2024,30	2090,93	3,29
6	ARRV	1463,45	701,46	196,05	2360,96	2288,74	3,06
7	Кехуе	1862,60	1021,01	202,28	3085,89	2552,00	17,30
8	Laurence M. Gould	1673,28	931,00	191,36	2795,64	2799,07	0,12
9	James Clark Ross	1994,63	1074,45	226,05	3295,13	2813,00	14,63
10	Ernest Shackleton	1849,17	984,64	332,35	3166,16	3321,00	4,89
11	James Cook	1977,25	998,80	251,30	3227,35	3337,00	3,40
12	Академик Трешников	5287,46	2611,25	814,81	8713,52	9885,70	13,45
13	Meteor	2120,96	1113,75	223,06	3457,77	3767,00	8,94
14	Poseidon	571,76	376,20	54,59	1002,55	1031,00	2,84
15	Alkor	657,61	360,00	40,24	1057,85	999,80	5,49
16	Sonne	1825,39	988,32	286,36	3100,07	3290,00	6,13
17	Belgica	423,14	269,70	41,70	734,54	773,00	5,24
18	Hespérides	1348,18	688,97	116,47	2153,62	2000,00	7,13
19	Discovery Replacement	2547,56	1342,17	366,41	4256,14	4420,80	3,87

Також результати цих розрахунків представлені на рисунку 1.

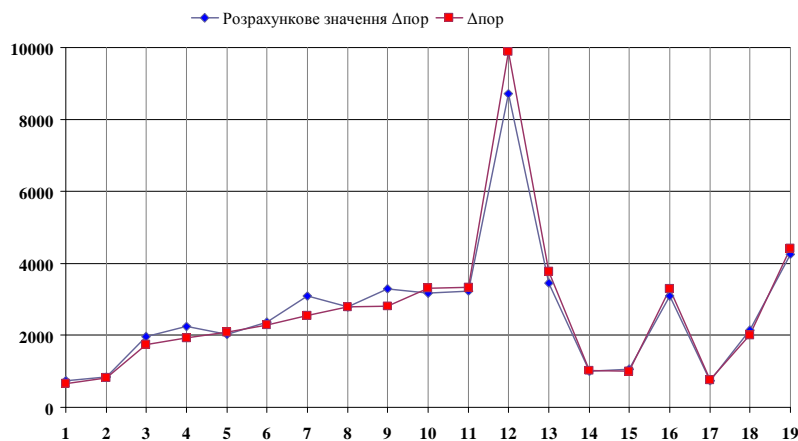


Рисунок 1 – Розрахунок водотоннажності порожнем УНДС (номера суден відповідають даним таблиці 4)

### Висновок

Проаналізовано та уточнено формули для розрахунку розділів навантаження мас універсальних науково-дослідних суден, які можна використовувати на початкових етапах проектування. Подальші дослідження доцільно направити на зниження похибки розрахунків за рахунок уточнення коефіцієнтів льодового підкріплення та наявності високоміцної сталі.

### Бібліографічний список використаної літератури

1. Watson D.G.M. Some ship design methods [Text] / D.G.M. Watson, A.W. Gilfillan // Naval Architect. — 1977. — №. 4. — P. 279–302.
2. Bertram V. Ship design for efficiency and economy [Text] / V. Bertram, H. Schneekluth // Butterworth-Heinemann. — 1998. — P. 149–179.
3. University of Alaska, Fairbanks School of Fisheries and Ocean Sciences, Institute of Marine Science Fairbanks, Woods Hole Oceanographic Institution. Alaska Region Research Vessel Weight Estimate [Text] // Concept Design. — Alaska, Massachusetts, December 2004. — 58 p.
4. Regional Class Research Vessel. Contractor Design Weight Estimate (CDWE) [Text] // Report. — November, 2008. — 56 p.

Надійшла до редакції 22.01.2014 р.

### Московко О.С., Бондаренко А.В. Анализ и уточнение формул для расчета разделов нагрузки масс универсальных научно-исследовательских судов

Проанализированы и уточнены формулы для расчета разделов нагрузки масс универсальных научно-исследовательских судов.

**Ключевые слова:** универсальное научно-исследовательское судно, нагрузка масс, водоизмещение, дедвейт.

### Moskovko O.S., Bondarenko A.V. Analysis and refinement of the formulas for calculating the weight estimate of universal research vessels

Analysis and refinement of the formulas for calculating the weight estimate of universal research vessels.

**Keywords:** universal research vessel, weight estimate, displacement, deadweight.