

УДК 629.5.01

РАСЧЕТ НАГРУЗКИ МАСС АВТОПАССАЖИРСКИХ КАТАМАРАНОВ НА ЭТАПЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**Д.Т. Буй¹, А.В. Бондаренко²**

Проведен анализ методов расчета нагрузки масс скоростных автопассажирских катамаранов на этапе концептуального проектирования. Приведены сравнительные результаты теоретического расчета массы судна с данными построенных катамаранов.

Ключевые слова: автопассажирский катамаран, методы расчета масс, нагрузка масс, концептуальное проектирование.

Расчет нагрузки масс является одной из важнейших и сложных задач начального этапа проектирования скоростных судов, поскольку даже небольшие изменения в массе будут иметь существенное влияние на главные размерения, строительную стоимость и эффективность судна в целом. Нагрузку масс судна можно определить с помощью конструктивных чертежей, теоретического чертежа и чертежей общего расположения судна или по приближенным формулам, базирующимся на данных нагрузки масс судов прототипов.

При отсутствии необходимых чертежей и близких прототипов, задача определения массы судна становится еще трудней. Поэтому, выбор соответствующей методики оценки составляющих полного водоизмещения на концептуальном этапе проектирования катамаранов является **актуальной** задачей.

В научной литературе, посвященной проектированию катамаранов, в основном используются две методики расчета нагрузки масс [1, 2]. Авторам известны еще несколько работ, в которых использованы принципы, описанных выше методов. В частности в работах [3, 4] предлагаются формулы более детального расчета составляющих водоизмещения катамаранов. Вопрос возможности применения этих методик в оптимизационной задаче и оценки погрешности расчетов остается открытым и требует дальнейшего исследования.

Цель работы – анализ и выбор наиболее подходящего метода для расчета составляющих полного водоизмещения автопассажирских катамаранов (АПК) в оптимизационной задаче.

¹ © Буй Д. Т., Национальный университет кораблестроения, г. Николаев.

² © Бондаренко А. В., к.т.н., доц., Национальный университет кораблестроения, г. Николаев.

Проведенный анализ научной литературы показал, что, как правило, уравнение масс катамаранов в общем виде определяется следующим зависимостью:

$$\Delta = P_{LS} + DW,$$

где Δ – полное водоизмещение, т; P_{LS} – водоизмещение судна порожнем, т; DW – дедвейт, т.

Дедвейт применительно к автопассажирским катамаранам целесообразно определить по формуле:

$$DW = P_{PL} + P_F + P_{CR} + P_{FW} + P_{SR},$$

где P_{PL} – масса полезного груза, т; P_F – масса топлива, т; P_{CR} – масса экипажа, т; P_{FW} – масса воды, т; P_{SR} – масса провизии, т.

Масса полезной нагрузки автопассажирских катамаранов выражается следующей зависимостью:

$$P_{PL} = 0,105N_{Pax} + 1,75N_{Car},$$

где N_{Pax} – количество пассажиров; N_{Car} – количество автомобилей.

Массу топлива можно определить традиционным методом:

$$P_F = \frac{R \cdot N \cdot SFC \cdot k_{MAR}}{V_S}, \text{ т,}$$

где R – расчетная дальность плавания, миль; N – мощность главных двигателей, кВт; SFC – удельный расход топлива, т/(кВт·ч); k_{MAR} – коэффициент морского запаса; V_S – эксплуатационная скорость, узл.

Масса экипажа с багажом:

$$P_{CR} = 0,125N_{CR}, \text{ т,}$$

где N_{CR} – количество членов экипажа.

Масса пресной воды P_{FW} и провизии P_{SR} определяются в соответствии с принятыми нормативами и Санитарными правилами в зависимости от продолжительности рейса и количества пассажиров на борту.

Наиболее трудной задачей является расчет составляющих водоизмещения порожнем P_{LS} . На этапе концептуального проектирования для скоростных катамаранов их, как правило, определяют как сумму масс корпуса P_{Hull} , механизмов P_M , оборудования P_{Out} и запаса водоизмещения P_{SM}

$$P_{LS} = P_{Hull} + P_M + P_{Out} + P_{SM}.$$

Расчет этих составляющих производится по различным методикам. Первым методом, подлежащим анализу в этой статье, является метод, где масса корпуса P_{Hull} рассчитывается как сумма масс конструкций корпуса P_{Str} , надстройки P_{Sup} , покраски и изоляции P_P , неметаллических частей P_N :

$$P_{Hull} = P_{Str} + P_{Sup} + P_P + P_N.$$

Масса конструкций корпуса катамарана зависит от вида материала и определяется как произведение удельной массы 1 квадратного метра площади q_{mat} и приведенной площади S_R :

$$P_{Str} = q_{mat} \cdot S_R, \text{ кг.}$$

Удельная масса 1 квадратного метра площади судовой конструкции q_{mat} выражается в функции от кубического модуля C_N . Для алюминиевых сплавов [2]:

$$q_{Al} = 4,2 \cdot C_N^{0,3}, \text{ кг/м}^2,$$

где $C_N = L_{WL} \cdot (2 \cdot B_1 \cdot D + S_X \cdot H_C)$, м³; L_{WL} – длина по конструктивной ватерлинии, м; B_1 – ширина одного корпуса по ватерлинии, м; D – высота борта, м; S_X – горизонтальный клиренс (расстояние между ДП двух корпусов), м; H_C – высота моста, м.

Расчет приведенной площади S_R в [2] предлагается выполнить, через площади поверхности днища S_1 , бортов S_2 , палубы S_3 , переборок S_4 и соединительной конструкции (моста) катамарана S_5 с помощью следующих зависимостей:

$$S_1 = 2 \cdot \nabla_1^{1/3} \cdot (3,51 \cdot \nabla_1^{1/3} + 0,568 \cdot L_{WL}), \text{ м}^2,$$

$$S_2 = 2,1 \cdot (L_{oa} + L_{WL}) \cdot (D - d), \text{ м}^2,$$

$$S_3 = 2,3 \cdot L_{oa} \cdot B_1, \text{ м}^2,$$

$$S_4 = 1,3 \cdot N_{WTB} \cdot C_X \cdot B_X \cdot D, \text{ м}^2,$$

$$S_5 = 0,92 \cdot L_{WL} \cdot (S_X - 1,4 \cdot B_X) \cdot (1,96 + H_C), \text{ м}^2,$$

где ∇_1 – объемное водоизмещение одиночного корпуса; L_{oa} – наибольшая длина; d – осадка; N_{WTB} – количество водонепроницаемых переборок катамарана.

Приведенная площадь S_R определяется с учетом корректирующих факторов f_{R1} , f_{R2} и коэффициентов c_i :

$$S_R = f_{R1} \cdot f_{R2} \cdot \sum_{i=1}^{i=5} c_i \cdot S_i, \text{ м}^2,$$

где f_{R1} – корректирующий фактор, учитывающий влияние отношения осадки к высоте борта

$$f_{R1} = 1,15 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^{0,25};$$

f_{R2} – корректирующий фактор, учитывающий влияние объемного водоизмещения одного корпуса катамарана

$$f_{R2} = 0,7 + 2,37 \cdot (1,26 + L_{WL}) \cdot \frac{\nabla_1}{L_{WL}^3}.$$

Значение коэффициентов c_i принимается по табл. 1.
 Массу надстройки можно определить по формуле:

$$P_{Sup} = g_{Sup} \cdot V_{Sup}, \text{ Т},$$

где g_{Sup} – измеритель масс надстройки катамарана; V_{Sup} – объем надстройки

$$V_{Sup} = \sum_{i=1}^n S_i \cdot h_i, \text{ м}^3,$$

где S_i, h_i – соответственно площадь и высота i -го яруса надстройки; n – количество ярусов надстройки..

Таблица 1

Относительные массы пластин катамарана

c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
1	0,73	0,71	0,67	0,81

Функциональные зависимости между массой покрытия и изоляции P_P , неметаллических частей P_N и модулем $(L_{oa} \cdot B \cdot D)^{2/3}$ выражаются следующим образом:

$$P_P = g_P \cdot (L_{oa} \cdot B \cdot D)^{2/3}, \text{ Т},$$

$$P_N = g_N \cdot (L_{oa} \cdot B \cdot D)^{2/3}, \text{ Т},$$

где g_P – измеритель массы покрытия и изоляции, т/м^2 ; g_N – измеритель массы неметаллических частей, т/м^2 .

В состав массы оборудования входят массы "устройств судовых", "систем", "электроэнергетической системы, внутрисудовой связи" и "запасных частей".

Масса оборудования по классической теории проектирования судов определяется через модуль $(L_{oa} \cdot B \cdot D)^{2/3}$:

$$P_{Out} = g_{Out} \cdot (L_{oa} \cdot B \cdot D)^{2/3}, \text{ Т}.$$

Однако эта зависимость дает результаты с большими погрешностями. Для уточнения массы оборудования целесообразно использовать следующую формулу, т:

$$P_{Out} = g_{Out} \cdot (L_{oa} \cdot B \cdot D)^{2/3} + p_{Out} \cdot V_{Sup},$$

где V_{Sup} – объем надстройки катамарана.

Для скоростных автопассажирских катамаранов можно принимать $g_{Out} = 0,055 \dots 0,065 \text{ т/м}^2$; $p_{Out} = 0,018 \dots 0,022 \text{ т/м}^3$.

Масса механизмов, включающая в себя массу главных и вспомогательных двигателей, движителей и редукторов, определяется по формуле:

$$P_M = \sum (5,7901 \cdot N_i - 1141), \text{ кг},$$

где N_i – мощность i -го двигателя.

Для газотурбинных двигателей можно использовать следующее выражение:

$$P_M = 0,1516N^{1,0939}, \text{ кг.}$$

Запас водоизмещения, как правильно, задается в процентах от полного водоизмещения судна Δ .

$$P_{SM} = 0,025\Delta, \text{ т}$$

Вторым методом, анализируемым в этой статье, является метод, предложенный Karayannis в [1], согласно которому масса корпуса P_{Hull} определяется через модуль:

$$E_c = 2L_{oa} \cdot (B_1 + d) + 0,85L_{oa} \cdot (D - d) + 1,6L_{oa} \cdot (B - 2B_1),$$

где B_1 – ширина одного корпуса; d – осадка катамарана.

Массу корпуса катамарана из алюминиевых сплавов можно посчитать по формулам:

$$P_{Hull} = 0,39E_c^{0,9}, \text{ т если } E_c \leq 3025;$$

$$P_{Hull} = 0,00064E_c^{1,7}, \text{ т если } E_c > 3025.$$

Для вычисления массы механизмов используются следующий подход. Вначале определяется масса следующих компонентов судового propulsionного комплекса:

дизельных двигателей, т

$$P_{дд} = 6,82 \left(\frac{N}{rpm} \right)^{0,85}, \text{ кг}$$

где N – суммарная мощность главных двигателей, кВт; rpm – число оборотов двигателя;

газотурбинных двигателей, т

$$P_{гт} = 3 + 0,00056N;$$

редукторов

$$P_{ред} = 0,00348N^{0,75}, \text{ т};$$

движителей

$$P_{дв} = 0,00018N^{1,18}, \text{ т.}$$

Затем масса механизмов рассчитывается по формуле:

$$P_M = 1,55(P_{дд} + P_{ред} + P_{дв})$$

или

$$P_M = 1,55(P_{гт} + P_{ред} + P_{дв}), \text{ т.}$$

Масса оборудования в соответствии с [2]:

$$P_{Out} = 0,03L_{oa} \cdot B.$$

Запас водоизмещения, как и в предыдущем методе, принят равным 2,5 % полного водоизмещения судна Δ .

Таким образом, в работе были проанализированы два способа определения составляющих нагрузки масс скоростных катамаранов. Зная проектные характеристики автопассажирских катамаранов, особенно полное водоизмещение и дедвейт, можно произвести сравнительный анализ расчетов двумя способами с данными по реально построенным судам. Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Сравнение P_{LS} и Δ , построенных автопассажирских катамаранов (АПК) с результатами расчета по первому способу [2]

Название АПК	Водоизмещение порожнем, т			Водоизмещение полное, т		
	$P_{LS\text{факт}}$	$P_{LS\text{расч}}$	$\varepsilon, \%$	$\Delta_{\text{факт}}$	$\Delta_{\text{расч}}$	$\varepsilon, \%$
<i>Jade express</i>	196	205	4,5	250	259	3,6
<i>Farasa</i>	473	490	3,5	731	748	2,3
<i>Turgut 1</i>	507	487	4	680	660	3
<i>Fair weather</i>	542	564	4	742	764	2,9
<i>Catlink</i>	890	865	2,7	1240	1215	2
<i>Auto express 82</i>	904	884	2,3	1250	1230	1,6
<i>Auto express 86</i>	980	1009	2,9	1380	1409	2,1
<i>High speed 4</i>	1130	1115	1,3	1600	1585	0,9
<i>Alaika</i>	1418	1452	2,4	2218	2252	1,5

Таблица 3

Сравнение P_{LS} и Δ , построенных АПК с результатами расчета по второму способу [1]

Название АПК	Водоизмещение порожнем, т			Водоизмещение полное, т		
	$P_{LS\text{факт}}$	$P_{LS\text{расч}}$	$\varepsilon, \%$	$\Delta_{\text{факт}}$	$\Delta_{\text{расч}}$	$\varepsilon, \%$
<i>Jade express</i>	196	250	27,8	250	304	21,8
<i>Farasa</i>	473	489	3,4	747	747	2,2
<i>Turgut 1</i>	507	459	9,4	680	632	7
<i>Fair weather</i>	542	547	1	742	747	0,7
<i>Catlink</i>	890	740	16,9	1240	1090	12,1
<i>Auto express 82</i>	904	757	16,3	1250	1103	11,8
<i>Auto express 86</i>	980	844	13,9	1380	1244	9,9
<i>High speed 4</i>	1130	914	19,1	1600	1384	13,5
<i>Alaika</i>	1418	1059	25,3	2218	1859	16,2

Как видно из вышеуказанных таблиц, для определения водоизмещения автопассажирских катамаранов расчет по первому способу [2] более точный (погрешность не превышает 3,6 %).

Выводы

1. В статье рассмотрены два наиболее распространенных метода определения нагрузки масс скоростных катамаранов на этапе концептуального проектирования.
2. Выполненные расчеты и сравнительный анализ результатов с реальными данными по водоизмещению судов позволил авторам рекомендовать наиболее подходящий метод [2] для использования в задаче оптимизации главных элементов автопассажирских катамаранов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karayannis T., Molland A.F., Williams Y. Data for High-Speed Vessels // Fifth International Conference on Fast Sea Transportation (FAST'99), Seattle, Washington, USA, August 31-September 2, 1999. – Washington, 1999. – P. 605 – 615.

2. Grubisic, I., Munic I. Multi-attribute design optimization of Adriatic catamaran ferry // Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources: proceedings of IMAM 2005, Lisbon, Portugal, September 26–30, 2005. – London: Taylor & Francis, 2005. – P. 851–858.

3. Многокорпусные суда. Иностранное судостроение в 1960–1971 гг. – Л.: Судостроение, 1972. – 190 с.

4. Николаев В. А. Обоснование методики оптимизационного проектирования скоростных пассажирских катамаранов [Электронный ресурс]. дис. ... канд. наук. наук: 05.08.03 / Николаев Владимир Александрович. – М., РГБ. – 199 с.

Рукопись поступила в редакцию 08.05.2013 г.