

УДК 629.12

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАССЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА ТАНКЕРА НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Малов Дмитрий Александрович¹, аспирант

e-mail: d.a.malov@mail.ru

Кочнев Юрий Александрович¹, доцент, кандидат технических наук

e-mail: tmnnkoch@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье проведён детальный анализ элементов и нагрузки масс малых танкеров. Проанализированы данные о модулях масс различных судов и их взаимосвязи с измерителями масс. Изучены зависимости масс судна от модулей масс судна, получены их математические и графические зависимости.

Ключевые слова: танкер, главные размерения, нагрузка масс, измеритель масс, модуль масс.

FORECASTING THE MASS OF THE METAL HULL OF A TANKER AT THE INITIAL STAGES OF DESIGN

Malov Dmitriy Aleksandrovich¹, Doctoral Student

e-mail: d.a.malov@mail.ru

Kochnev Jurij Aleksandrovich¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

e-mail: tmnnkoch@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article provides a detailed analysis of the elements and mass loads of small tankers. The data on the mass modules of various vessels and their relationship with mass meters are analyzed. The dependences of the ship's masses on the ship's mass modules are studied, their mathematical and graphical dependences are obtained.

Keywords: tanker, main dimensions, mass load, mass meter, mass module.

Важным и ответственным этапом проектирования нефтеналивного танкера является начальная стадия разработки проекта, от качества решений на котором, зависит эффективность окончательно разработанного судна. На этом этапе решается ряд вопросов, один из которых – обоснование основных элементов конструкции корпуса, оказывающих доминирующее влияние на водоизмещение судна порожнём.

Конструкция проектируемого судна должна обеспечивать мореходные качества, а также соответствовать требованиям Правил Российского Классификационного Общества (РКО)

[1] или Правил Российского Морского Регистра судоходства (РМРС) [2] к необходимой местной и общей прочности. При этом желательно обеспечивать минимальную массу корпуса, так как этот показатель влияет на конечную стоимость постройки судна. Чтобы выполнить последнее условие судно должно иметь либо предельно малые размерения, что не реализуемо при заданной заказчиком грузоподъемности и характеристиках груза, либо сама конструкция корпуса должна быть выбрана таким образом, чтобы минимизировалась масса, но прочность и мореходные качества оставались достаточными.

Целью работы является анализ особенностей конструкции корпуса и его массы для малых танкеров смешанного (река-море) плавания.

В работе рассмотрены «малые» танкеры, к которым согласно [3] в отечественном флоте относятся суда дедвейтом до 5000 тонн с следующими расчетными главными размерениями:

- длина $L=75\dots 150$ м;
- ширина $B=10\dots 20$ м;
- высота борта на миделе $H=6\dots 8$ м.

Таблица 1

Главные размерения рассмотренных судов

Наименование проекта	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5
Длина, м	136,05	87,78	75,0	83,7	140,6
Ширина, м	16,6	15,7	15,7	13,4	16,7
Высота борта на миделе, м	6,1	7,8	7,8	7,9	6,0
Водоизмещение, т	2450	2200	1755	2018	2538
Корпус металлический, т	1733,72	1463,18	1320,61	1289,64	1786,43
Палуба верхняя, т	348,79	142,36	141,72	147,01	381,31
Обшивка наружная, настил второго дна, примыкающие части, т	861,72	817,09	н/д	610,14	856,04
Переборки главные поперечные, т	81,57	81,32	80,45	93,6	128,76
Переборки главные продольные, т	151,91	48,34	31,96	111,63	141,78

На Рисунке 1 приведены схемы мидель - шпангоутов, рассматриваемых проектов.

Основной набор днища на всех судах продольный с расстоянием между балками от 450 до 550 мм. Флоры в средней части установлены в соответствии с правилами [1], [2] кратн шпации на расстоянии от 1650 до 1980 мм, что соответствует требованиям РРР (не более 2400 мм) и требованиям РС (до 3600 мм, но не более 5 шпаций).

Палубный набор на малых танкерах применяется двух типов: внутри и снаружи танка.

В обоих случаях используется основной набор с продольным направлением связей с расстоянием между балками от 450 до 550 мм. Рамные поперечные связи установлены согласно правилами [1], [2] на расстоянии, не превышающем расстояние между флорами.

Диаметральная переборка на современном судне изготавливается в большинстве случаев гофрированной с вертикальным расположением гофров. Исключением является «Проект 5» (Рисунок 1д), где переборка отсутствует, и заменена отбойным листом в ДП, снижающим влияние свободной поверхности жидких грузов.

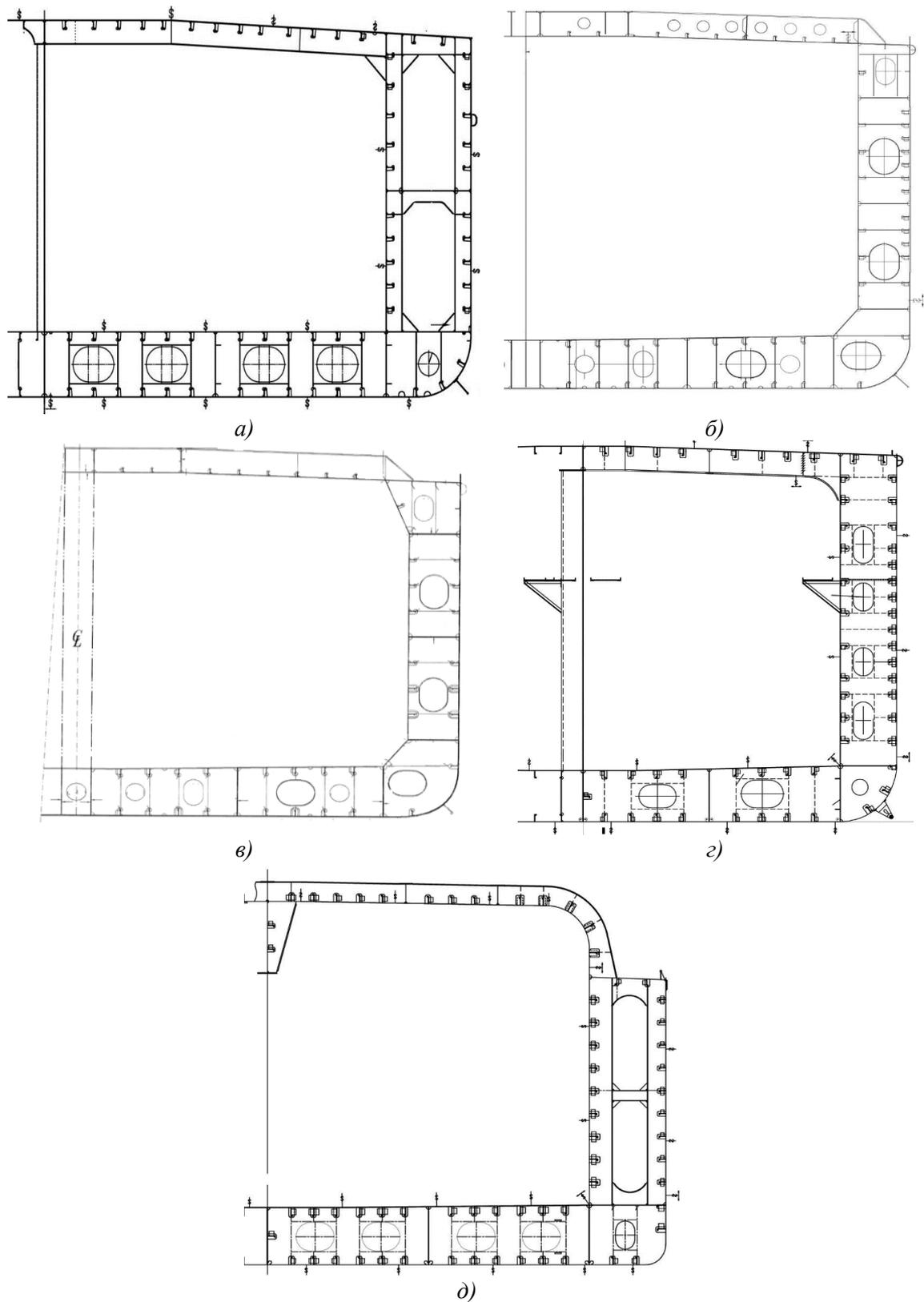


Рисунок 1 – Схема мидель – шпангоутов

Основной набор борта применён продольный на всех судах. Рамные шпангоуты установлены в соответствии с правилами [1], [2] на расстоянии, не превышающем расстояние между флорами с целью образования замкнутого контура рамной связью. На большинстве судов в качестве рамного шпангоута используется диафрагма, подкреплённая

поперечными балками. Однако на судне «Проект 1» в качестве рамного шпангоута используется тавровая балка, что обусловлено большим междубортовым пространством.

Накопленный опыт постройки и практика эксплуатации нефтеналивных судов позволят выработать регрессионные зависимости соответствующих статей нагрузок масс, удобные для применения на начальных этапах проектирования и зависящие только от главных элементов.

В соответствии с ОСТ 5Р.0206-2002 «Нагрузка масс гражданских и вспомогательных судов» [4] масса металлического корпуса судна определяется суммой

$$P_1 = \sum_{i=1}^6 P_i, \quad (1)$$

где P_1 – масса обшивки наружной, настила второго дна, примыкающих частей;

P_2 – масса палуб и платформ корпуса;

P_3 – масса переборок корпуса;

P_4 – масса надстроек, рубок и мачт;

P_5 – масса специальных конструкций;

P_6 – масса выступающих частей.

Из теории проектирования судов известно [5 – 6], что на начальных этапах проектирования массу целесообразно представлять через её измеритель

$$p_i = \frac{P_i}{M}, \quad (2)$$

где P_i – рассматриваемая масса;

M – модуль масс, равный

$$M = \prod_{j=1}^n X_j^{a_j}, \quad (3)$$

где X_j – j -ый элемент или характеристика судна;

a_j – показатель степени.

На Рисунке 2 приведена зависимость измерителя масс металлического корпуса $P_{МК}/LBH$ от кубического модуля LBH .

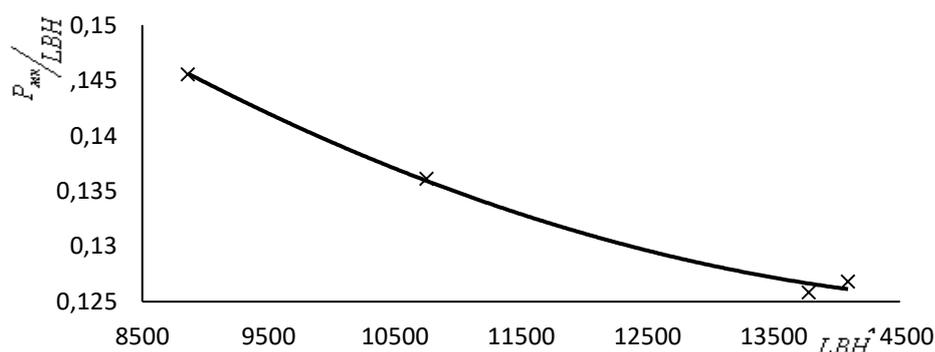


Рисунок 2 – Зависимость измерителя масс $P_{МК}/LBH$ металлического корпуса от кубического модуля LBH

Массу металлического корпуса в данном случае можно определить уравнением:

$$P_{mk} = [(2,3914)^{-0,308}] \times LBH \pm 15,87 \quad (4)$$

Масса верхней палубы, включающая массу настилов, рамных балок и основного набора может быть представлена через измеритель $\psi_{en} = P_{en}/LB$. Ее графическая зависимость приведена на Рисунке 3.

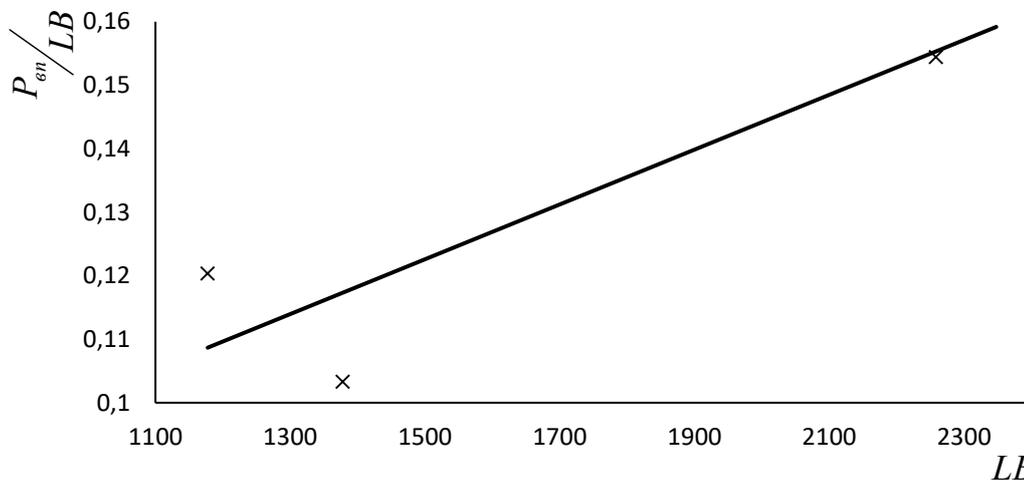


Рисунок 3 – Зависимость измерителя масс P_{en}/LB верхней палубы от модуля LB

Масса верхней палубы определяется по формуле:

$$P_{en} = [4,00 \times 10^{-5} LB + 0,0578] \times LB \pm 25,07 \quad (5)$$

На рисунке 4 представлена зависимость измерителя масс обшивки наружной, настила второго дна и примыкающих частей $\psi_{oo} = P_{oo}/L(B+H)$ от квадратичного модуля $L(B+H)$.

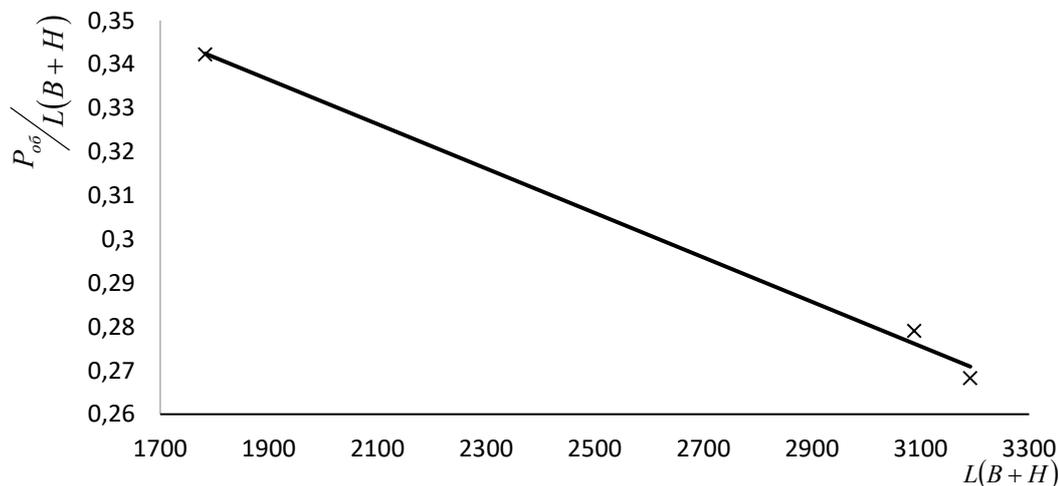


Рисунок 4 – Зависимость измерителя масс $P_{oo}/L(B+H)$ обшивки наружной, настила второго дна и примыкающих частей от модуля $L(B+H)$

Тогда масса обшивки определяется уравнением:

$$P_{oo} = [-0,05 \times 10^{-3} (L(B+H)) + 0,433] \times (L(B+H)) \pm 16,61 \quad (6)$$

На рисунке 5 представлена зависимость измерителя масс поперечных переборок $P_{\text{поп.пер.}}/BH$ от площади поперечного сечения корпуса β_m^{BH} .

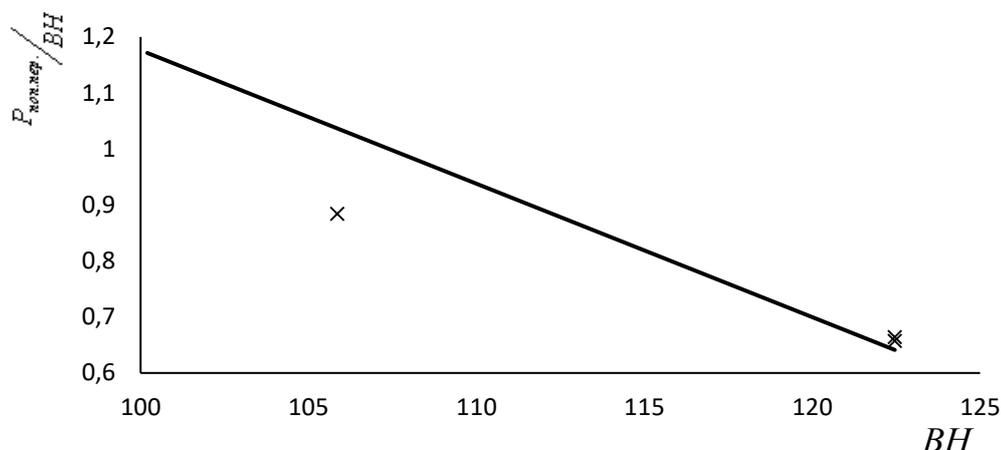


Рисунок 5 – Зависимость измерителя масс $P_{\text{поп.пер.}}/BH$ поперечных переборок от модуля BH

Учитывая, что танкера смешанного (река-море) плавания имеют вертикальный борт и плоское горизонтальное днище, соединенное скулой малого радиуса коэффициент полноты площади мидель – шпангоута по главную палубу можно считать равным единице ($\beta_m = 1$).

$$P_{\text{поп.пер.}} = [-2,38 \times 10^{-2} BH + 3,56] BH \pm 16,55 \quad (7)$$

На рисунке 6 представлена зависимость измерителя масс продольных переборок $P_{\text{прод.пер.}}/LH$ от модуля LH .

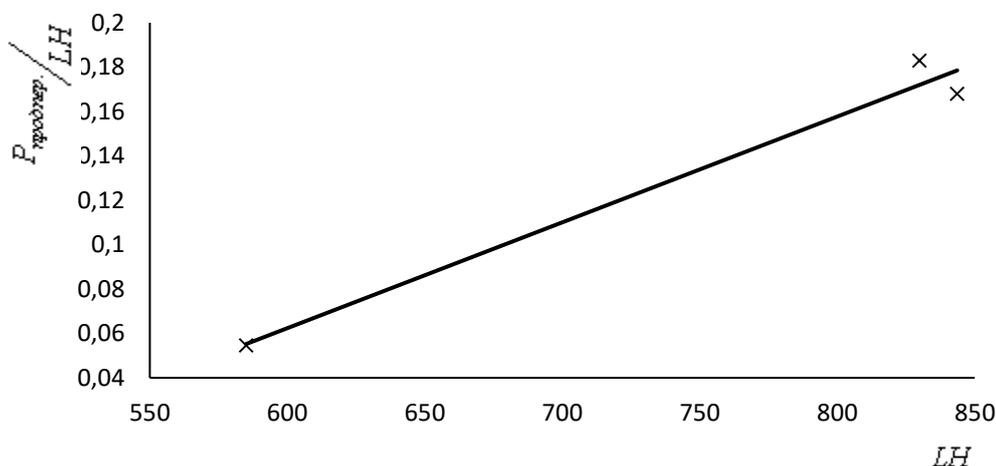


Рисунок 6 – Зависимость измерителя масс $P_{\text{прод.пер.}}/LH$ продольных переборок от модуля LH

Получившуюся зависимость для массы можно отразить уравнением:

$$P_{\text{прод.пер.}} = [0,05 \times 10^{-2} LH - 0,22] LH \pm 28,46 \quad (8)$$

На рисунке 7 представлена зависимость измерителя масс надстройки P_n/LBH от модуля LBH_n .

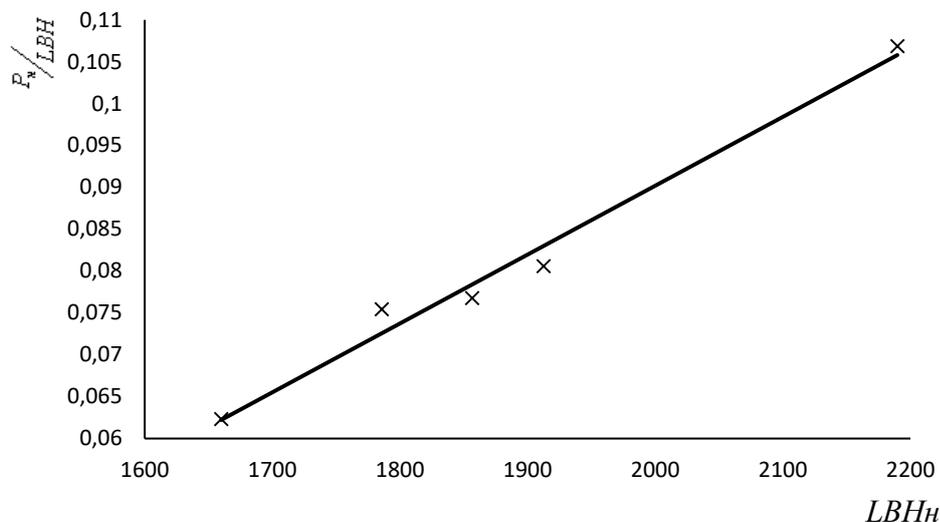


Рисунок 7 – Зависимость измерителя масс P_n/LBH надстройки от модуля LBH_n

Получившуюся зависимость для массы можно отразить уравнением:

$$P_n = [0,08 \times 10^{-3} LBH - 0,074] LBH \pm 13,09 \quad (9)$$

Так как масса специальных конструкций, масса выступающих частей составляют около 5% от общей массы статьи «Корпус металлический» данную массу учтем в виде поправочного коэффициента $k_I = 1,05$.

Окончательно масса металлического корпуса на начальном этапе проектирования может быть записана

$$P_I = k_I (P_{вн} + P_{об} + P_{ноп.пер.} + P_{прод.пер.} + P_n) \quad (10)$$

где k_I – коэффициент, учитывающий неучтенные массы и индивидуальные погрешности.

В таблице 2 приведено сопоставление расчётной и проектной массы статьи нагрузки масс 0101 (Корпус металлический)

Таблица 2

	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5
Проектная масса, т	1733,72	1463,18	1320,61	1289,64	1786,43
Расчётная масса по формуле (4), т	1749,55	1473,62	1321,52	1289,07	1776,87
Погрешность по формуле (4), %	0,91	0,71	0,07	-0,04	-0,54
Расчетная масса по формуле (10), т	1737,57	1364,35	1202,32	1238,62	1773,00
Погрешность по формуле (10), %	0,22	-6,75	-8,96	-3,96	-0,75

По данным таблицы 2 можно считать, что точность полученных формул достаточна для начального этапа или этапа исследовательского проектирования. Средняя погрешность по формуле (4) составляет менее 1%. Средняя погрешность по формуле (10) составляет менее

5%. Большая погрешность обусловлена разнообразием конструкций, а также увеличением массы для удовлетворения требованиям прочности.

Для повышения точности полученных формул необходим постатейный расчёт масс с разработкой виртуального (математического) металлического корпуса судна, учитывающего, по мимо главных элементов, фактические размеры связей и особенности конструкции, которые были рассмотрены.

Список литературы:

1. Российское классификационное общество. – URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PKPS.pdf?t=32> (дата обращения 18.04.2024)
2. Российский Морской Регистр Судоходства. Правила Классификации и постройки морских судов. ЧАСТЬ II «КОПУС». – URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument?type=rules3&d=77335C57-7899-4525-9980-2C6A123FA0ED&f=2-020101-174-2>. (дата обращения 18.04.2024)
3. Ефремов Н. А., Егоров Г. В. «Малые» танкеры продолжают служить / «Морской флот», Выпуск 5, 2008 – с. 47 – 53.
4. ОСТ 5Р.0206 – 2002 Нагрузка масс гражданских и вспомогательных судов. Классификация элементов нагрузки. Принят и введен в действие распоряжением технического комитета по стандартизации ТК «Судостроение» от 27.12.02, №ТК 0206-26. – 74 с
5. Роннов Е.П. Проектирование судов внутреннего плавания: Учебное пособие – Н. Новгород: издательство ФГОУ ВО «ВГАВТ», 2009. – 305 с.
6. Кочнев Ю.А. Математическая модель расчёта массы металлического корпуса комбинированного судна // И.А. Гуляев, Е.П. Роннов, Ю.А. Кочнев / Научные проблемы водного транспорта, Выпуск 63, 2020 – с. 48 – 54.

