

УДК 629.5

**М. С. Горохов,**  
асп.;

**Е. П. Роннов,**  
д-р техн. наук, проф.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ КОРПУСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТОЕЧНОГО СУДНА НА СТАДИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### DEFINITION OF THE MASS OF REINFORCED CONCRETE STATIONARY VESSEL HULL AT THE STAGE OF RESEARCH DESIGNING

*В статье приведены результаты статистического исследования главных размерений и основных характеристик судов стоечного типа с корпусом из железобетона. Показан характер зависимости значений измерителя массы железобетонного корпуса рейдовых причалов и дебаркадеров от его кубического модуля. Предложены формулы для расчета измерителя массы железобетонного корпуса рейдовых причалов и дебаркадеров, которые могут быть использованы на стадии исследовательского проектирования. Выполнен анализ точности расчета массы железобетонного корпуса с использованием полученных формул, показавший приемлемую для исследовательской стадии проектирования точность. Предложена методика для более точного определения массы корпуса железобетонного стоечного судна с учетом его проектных и конструктивно-технологических особенностей. Полученные в ходе исследования результаты предлагается использовать при исследовательском проектировании судна стоечного типа с различными вариантами конструкции корпуса.*

*The article shows the results of static investigation of main dimensions and main parameters of stationary vessels with reinforced concrete hulls. The author shows the relation between the meanings of the mass indicator of wharves and concrete vessels and their cubic modulus. Suggested are the formulae for calculation of the mass indicator of wharves and concrete vessels at the stage of their research designing. Provided in the article is the analysis of exactness of mass calculation of reinforced concrete hull with application of the formulae, having shown the needed accuracy at the stage of the research designing. The author suggests the methodology for more exact definition of the mass of a reinforced concrete stationary vessel hull, taking into consideration its design and technical parameters. The obtained results of the investigation can be used at the research designing of a stationary vessel with different variants of hull structure.*

*Ключевые слова: стоечное судно, исследовательское проектирование, железобетон, корпус, кубический модуль, измеритель массы, прототип, конструктивный элемент, главные размерения.*

*Key words: a stationary vessel, research designing, reinforced concrete, hull, cubic modulus, mass indicator, prototype, structure element, main dimensions.*

**К**АК известно [1], [2], железобетон имеет ряд серьезных преимуществ в качестве материала корпуса стоечных судов, к которым относятся, прежде всего, различного типа дебаркадеры и рейдовые причалы [3]. Уже на начальной стадии проектирования железобетонного судна стоечного типа одним из наиболее важных показателей, влияющих на его будущие технико-экономические показатели, является масса его железобетонного корпуса. От того, насколько точно будет определена масса корпуса, зависят эксплуатационно-технические качества судна [4], трудоемкость и стоимость его постройки.

Определение массы корпуса на начальной стадии проектирования можно выполнить двумя различными способами: используя либо показатели наиболее близкого судна-прототипа, либо зависимости, полученные в результате обработки статистических данных существующих проектов судов. Использование данных близкого прототипа [5] практически невозможно при исследовательском проектировании судна, когда анализируются зависимости характеристик судна от его элементов. В этом случае наиболее точные значения массы корпуса можно получить на основе статистических данных.

Целью данной работы является получение статистических зависимостей, позволяющих найти массу железобетонного корпуса стоечного судна с учетом его архитектурно-конструктивных особенностей. Для этого были проанализированы главные размерения и основные характеристики проектов рейдовых причальных понтонов и дебаркадеров с корпусом из железобетона.

Дебаркадеры и рейдовые причальные понтоны с корпусом из железобетона предназначены для швартовки различных типов судов, посадки и высадки пассажиров, производства грузовых операций пассажирского и грузопассажирского флота. Все рассмотренные проекты причальных понтонов и дебаркадеров, спроектированные по Правилам речного регистра РСФСР, предназначены для эксплуатации на внутренних водных путях. Суда являются стоечными, а их корпус изготовлен из тяжелого судостроительного бетона с крупным наполнителем в виде щебня или гравия, армированного горячекатаной стержневой арматурой различных классов прочности. Прямоугольный в плане, с транцевым носом и кормой, наклонными подрезами или без подрезов в оконечностях геометрически корпус имеет форму параллелепипеда. Внутреннее пространство корпуса разделено на отсеки продольными или поперечными проницаемыми или непроницаемыми переборками. Система набора корпуса — поперечная, смешанная либо безнаборная. Наружная обшивка представляет собой плоские железобетонные плиты [6]. Набор корпуса состоит из железобетонных балок прямоугольного сечения.

Архитектурно-конструктивный тип рейдовых причальных понтонов характеризуется отсутствием развитой надстройки. Грузовые лабазы размещаются в корпусе, а для пассажиров на палубе устроены открытые площадки, снабженные легкими тентами. Архитектурно-конструктивный тип дебаркадеров характеризуется развитой двух- или трехъярусной надстройкой, размещение груза предусматривалось во внутренних отсеках корпуса либо в надстройке на главной палубе [7].

Статистическое исследование, проведенное в рамках данной статьи, охватывает суда длиной от 20 до 85 м. Соотношение главных размерений у рассматриваемых судов является традиционным для дебаркадеров и причальных понтонов и отвечает предъявляемым к ним эксплуатационным требованиям. Учитывая рассмотренные архитектурно-конструктивные особенности, было принято решение выполнять определение массы железобетонного корпуса с использованием формулы первой группы [8], основанное на предположении о том, что масса корпуса прямо пропорциональна кубическому модулю  $LBH$ :

$$P_k = \psi_k LBH, \quad (1)$$

где  $\psi_k$  — масса 1 м<sup>3</sup> параллелепипеда со сторонами  $L \times B \times H$  (измеритель массы корпуса).

Элементы и характеристики рассматриваемых судов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Главные размерения и характеристики рейдовых причальных понтонов и дебаркадеров**

Проект	Класс PPP	Система набора	$L$ , м	$B$ , м	$H$ , м	$LBH$ , м <sup>3</sup>	$\Psi_k$ , т/м <sup>3</sup>
Рейдовые причальные понтоны							
154	Р	Поперечная	65	14	3,2	2912	0,197
146(1)	Р	Безнаборная	20	8	2	320	0,258
146(2)	Р	Безнаборная	20	8	2	320	0,262
P24(1)	О	Поперечная	42	15	2,8	1764	0,207
P24(2)	О	Поперечная	42	8	2,8	940,8	0,256
P66	Р	Безнаборная	30	10	2,2	660	0,248
123А	Р	Поперечная	65	14	3,2	2912	0,197
157(1)	Р	Поперечная	45	12	2,8	1512	0,241
157(2)	Р	Поперечная	42	12	2,8	1411,2	0,267
157(3)	Р	Поперечная	45	12	2,8	1512	0,212

Таблица 1  
 (Окончание)

133Б	Р	Поперечная	45	12	2,8	1512	0,209
61	р	Безнаборная	20	7	2	280	0,273
133(1)	Р	Поперечная	45	12	2,8	1512	0,209
133В	Р	Поперечная	45	12	2,8	1512	0,209
Дебаркадеры							
123/823	Р	Поперечная	64,4	14	3,2	2885,12	0,200
833	Р	Поперечная	35	10	2,8	980	0,221
47	Р	Безнаборная	35	9,6	2,8	940,8	0,246
47Б	Р	Безнаборная	35	9,6	2,8	940,8	0,224
61А(1)	Р	Безнаборная	20	7	2	280	0,285
61А(2)	Р	Безнаборная	20	7	2	280	0,261
61А(3)	Р	Безнаборная	20	7	2	280	0,273
61Б	Р	Безнаборная	20	7	2	280	0,272
39	О	Безнаборная	20	7	2	280	0,283
48	Р	Смешанная	85	20	3,7	6290	0,191
33	Р	Смешанная	65	14	3,6	3276	0,188
123	Р	Поперечная	65	14	3,2	2912	0,188
137(1)	Р	Смешанная	65	14	3,2	2912	0,187
137(2)	Р	Поперечная	65	14	3,2	2912	0,196
133-02(2)	Р	Поперечная	45	12	2,8	1512	0,215
10130	Р	Поперечная	45	12	3,2	1728	0,198
133А	Р	Поперечная	45	12	2,8	1512	0,209
133-02(1)	Р	Безнаборная	45	12	2,8	1512	0,225
14	Р	Смешанная	42	12	3	1512	0,212
20	Р	Смешанная	45	12	3	1620	0,205
55	Р	Смешанная	45	12	3	1620	0,207
62(1)	Р	Смешанная	45	12	3	1620	0,204

Примечание.  $L$ ,  $B$ ,  $H$  — соответственно расчетная длина, ширина и высота корпуса.

Для нахождения зависимости измерителя массы корпуса  $\Psi_k$  от элементов судна отдельно для причальных понтонов и дебаркадеров были построены кривые  $\Psi_k = f(LBN)$  — рис. 1 и 2, затем с использованием метода наименьших квадратов найдены их аппроксимационные уравнения.

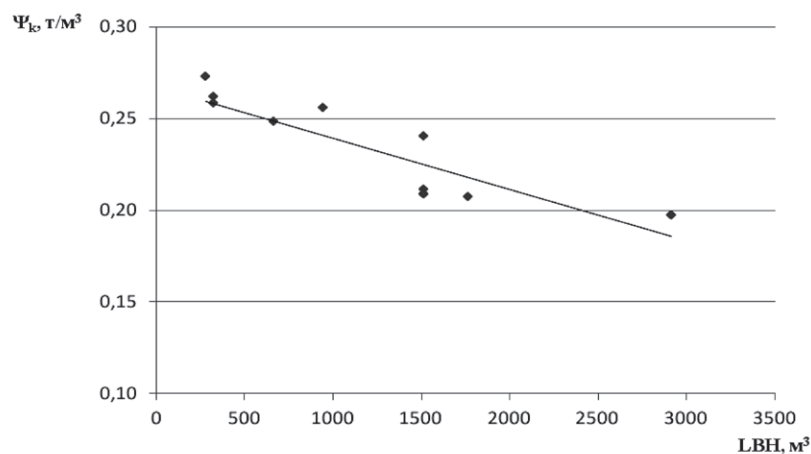


Рис. 1. Измеритель массы корпуса  $\Psi_k$  причальных понтонов

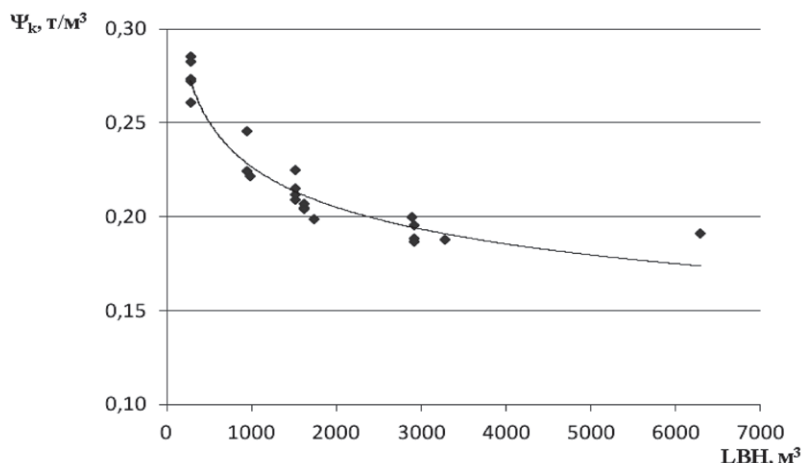


Рис. 2. Измеритель массы корпуса  $\Psi_k$  дебаркадеров

Как видно из приведенных графиков, для железобетонных судов подтверждается известная зависимость уменьшения измерителя массы корпуса с увеличением размеров судна. Для причальных понтонов зависимость измерителя массы корпуса  $\Psi_k$  от кубического модуля линейная. Для дебаркадеров же эта зависимость имеет характер степенной функции. Таким образом, измеритель массы корпуса  $\Psi_k$  предлагается определять по следующим формулам:

– для рейдовых причальных понтонов

$$\psi_k = -0,3 \cdot 10^{-4} LBH + 0,27; \quad (3)$$

– для дебаркадеров

$$\psi_k = 0,6 LBH^{-0,14}. \quad (4)$$

В табл. 2 приведены результаты расчета массы корпуса по полученным формулам. В случае, если палуба судна рассчитана на восприятие значительных местных нагрузок, таких как нагрузка от колес транспортных средств, задействованных в обслуживании судов (например, суда пр. 157(2)), значения  $\Psi_k$ , рассчитанные по формулам (3) и (4), следует увеличить на 15 % [9].

Таблица 2

**Анализ точности расчета массы корпуса плавучих причалов  
и дебаркадеров по полученным формулам**

Проект	Масса корпуса $P_k$ , т		Погрешность, %
	фактическая	расчетная	
Плавучие причалы			
154	575	531,3	7,60
146(1)	82,7	83,3	0,69
146(2)	83,9	83,3	0,75
P24(1)	366	382,6	4,54
P24(2)	241	227,3	5,69
P66	164	165,0	0,62
123A	575	531,3	7,60
157(1)	364	339,4	6,76
157(3)	320	339,4	6,06
133Б	316	339,4	7,40
61	76,5	73,2	4,32
133(1)	316	339,4	7,40
133В	316	339,4	7,40

Таблица 2  
 (Окончание)

Дебаркадеры			
123/823	576	568,9	1,23
833	217	224,7	3,54
47	231	216,9	6,09
47Б	211	216,9	2,81
61А(1)	79,9	76,5	4,30
61А(2)	73	76,5	4,74
61А(3)	76,5	76,5	0,05
61Б	76,2	76,5	0,34
39	79,1	76,5	3,34
48	1202	1112,4	7,45
33	616	634,6	3,02
123	548	573,4	4,64
137(1)	544	573,4	5,41
137(2)	570	573,4	0,61
133-02(2)	325	326,3	0,39
10130	343	366,0	6,71
133А	316	326,3	3,25
133-02(1)	340	326,3	4,04
14	320	326,3	1,96
20	332	346,2	4,29
55	335	346,2	3,35
62(1)	331	346,2	4,60

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что средняя погрешность при определении массы корпуса причалов по полученным формулам не превышает 5 %, для дебаркадеров — 4 %. Данные значения погрешности являются приемлемыми при исследовательском проектировании железобетонного корпуса стоечного судна.

Обобщенная оценка точности выполненной аппроксимации производилась с использованием статистического критерия Фишера [10]. Для причальных понтонов значение  $F$ -критерия составляет 1,28, что меньше табличного значения — 2,58. Для дебаркадеров  $F$ -критерий составил 1,42 при табличном значении 1,98. На основании полученных значений можно сделать вывод о том, что по полученным формулам масса железобетонного корпуса определяется с достаточной для исследовательской стадии проектирования точностью. Однако более точно массу корпуса железобетонного судна, учитывая его проектные особенности, можно рассчитать как сумму масс его основных конструктивных элементов, каждый из которых рассчитывается с использованием соответствующих модулей:

$$P_k = \sum_{i=1}^n \psi_{ik} M_{ik}, \quad (5)$$

где  $\psi_{ik}$ ,  $M_{ik}$  — измеритель массы и модуль пересчета  $i$ -го конструктивного элемента корпуса.

В этом случае, учитывая упрощенную форму обводов, близкую к прямоугольному параллелепипеду, массу корпуса можно представить в следующем виде:

$$P_k = (\psi_{1k} + \psi_{3k})LB + (2\psi_{2k} + \psi_{6k} \cdot n_{нд})LH + (\psi_{4k} + \psi_{5k} \cdot n_{пн})BH + 2\psi_{7k}(L + H) \cdot m_{нд} + 2\psi_{8k}(B + H) \cdot m_{пн} + (\psi_{9k} + \psi_{10k})LBH. \quad (6)$$

где  $\psi_{1k}$  — измеритель массы плиты днища;  $\psi_{2k}$  — измеритель массы плиты борта;  $\psi_{3k}$  — измеритель массы плиты палубы;  $\psi_{4k}$  — измеритель массы плиты транцев;  $\psi_{5k}$  — измеритель массы поперечных переборок;  $\psi_{6k}$  — измеритель массы продольных переборок;  $\psi_{7k}$  — измеритель массы продольных ребер;  $\psi_{8k}$  — измеритель массы поперечных ребер;  $\psi_{9k}$  — измеритель массы местных усилений и фундаментов;  $\psi_{10k}$  — измеритель массы закладных деталей;  $n_{\text{пп}}$  — количество поперечных переборок;  $n_{\text{пд}}$  — количество продольных переборок;  $m_{\text{пп}}$  — количество поперечных балок набора;  $m_{\text{пд}}$  — количество продольных балок набора;

При отсутствии близкого прототипа и учитывая минимально необходимую толщину плит, значения данных измерителей масс могут быть приняты в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

Значения измерителей масс

Измеритель	$\psi_{1k}, \psi_{2k}$	$\psi_{3k}$	$\psi_{4k}$	$\psi_{5k}, \psi_{6k}$	$\psi_{7k}$	$\psi_{8k}$	$\psi_{9k}$	$\psi_{10k}$
Значение	0,16	0,13	0,18	0,11	0,06	0,04	0,005	0,001

Приведенные значения измерителей масс различных конструктивных элементов железобетонного корпуса являются ориентировочными. Для более точного расчета массы их необходимо корректировать, учитывая конструктивные особенности проектируемого стоечного судна и характеристики, предъявляемые к его элементам. Для конструктивных элементов в виде плит измерители  $\psi_{1k} - \psi_{4k}$  могут быть рассчитаны следующим образом [11]:

$$\psi_{ik} = \delta_{ik} \cdot (\rho_6 + k_{\text{арм}} \cdot \rho_{\text{арм}}), \quad (7)$$

где  $\delta_{ik}$  — толщина плиты  $i$ -го конструктивного элемента, м;

$\rho_6$  — плотность судостроительного бетона, т/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{арм}}$  — плотность арматурной стали, т/м<sup>3</sup>;

$k_{\text{арм}}$  — коэффициент армирования сечения железобетонного элемента.

Для конструктивных элементов в виде ребер набора корпуса измерители  $\psi_{7k}, \psi_{8k}$  могут быть рассчитаны в виде

$$\psi_{ik} = h_{ip} \cdot b_{ip} \cdot (\rho_6 + k_{\text{арм}} \cdot \rho_{\text{арм}}), \quad (8)$$

где  $h_{ip}$  — высота ребра  $i$ -го конструктивного элемента, м;

$b_{ip}$  — ширина ребра  $i$ -го конструктивного элемента, м.

### Выводы

1. В результате проведенного статистического анализа главных размерений и основных характеристик рейдовых причалов и дебаркадеров получены формулы для расчета измерителя массы железобетонного корпуса, который в последующем используется для определения массы корпуса.

2. Проведенный анализ точности расчета массы железобетонного корпуса с использованием полученных формул показал приемлемую для исследовательской стадии проектирования точность.

3. Для более точного определения массы корпуса железобетонного стоечного судна предложена методика и значения измерителей масс, учитывающие его проектные и конструктивно-технологические особенности.

### Список литературы

1. Бондурянский З. П. Морские железобетонные суда (проектирование корпуса) / З. П. Бондурянский, М. А. Дьячков, Э. Е. Меламед. — Л.: Судостроение, 1966. — 200 с.

2. *Горохов М. С.* Состояние и направления развития корпусных конструкций судов из железобетона / М. С. Горохов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2013. — № 35. — С. 67–70.

3. Дебаркадер // Википедия. [2014 – 2014]. Дата обновления: 27.08.2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=65111407> (дата обращения: 27.12.2014).

4. *Анфимов В. Н.* Технично-эксплуатационные качества судов смешанного плавания / В. Н. Анфимов. — М.: Транспорт, 1974. — 271 с.

5. *Бронников А. В.* Проектирование судов / А. В. Бронников. — Л.: Судостроение, 1991. — 320 с.

6. *Горохов М. С.* Влияние параметров дисперсного армирования на трещиностойкость судовых конструкций из фибробетона / М. С. Горохов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 1 (23). — С. 68–73.

7. *Егоров Н. М.* Справочник по железобетонному судостроению (суда внутреннего плавания) / Н. М. Егоров [и др.]. — Л.: Судостроение, 1969. — 356 с.

8. *Ашик В. В.* Проектирование судов: учебник / В. В. Ашик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1985. — 320 с.

9. *Синцов Г. М.* Конструкция и прочность железобетонных судов / Г. М. Синцов [и др.]. — Л.: Судостроение, 1969. — 384 с.

10. *Базилевский С. А.* Теория ошибок, возникающих при проектировании судов / С. А. Базилевский. — Л.: Судостроение, 1964. — 200 с.

11. *Егоров Н. М.* Проектирование элементов корпуса железобетонного судна: учеб. пособие для студентов кораблестроительного факультета / Н. М. Егоров. — Горький: ГИИВТ, 1980. — С. 85.

**УДК 629.122**

**Е. В. Купальцева,**  
асп.

## **АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ ДЛЯ ВНУТРИГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ЛИНИЙ**

### **ANALYSIS OF THE DESIGN CHARACTERISTICS OF THE MAIN ELEMENTS OF INLAND VESSELS**

*Пассажирские суда, предназначенные для работы на внутригородских и пригородных линиях, по архитектурно-конструктивным признакам разделены на четыре типа. Основными признаками деления являются палубность и принцип расположения пассажирских мест. На основе статистического анализа для каждого из типов выявлено влияние пассажироемкости на величину водоизмещения и коэффициента утилизации. В функции от пассажироемкости, как наиболее важного параметра, выявлены устойчивые регрессионные зависимости для определения главных размерений судна для каждого из выделенных типов. В общем случае получены аналитические зависимости проектных характеристик в функции от водоизмещения. Для оценки мощности на стадии концептуального проектирования предлагается использовать зависимость адмиралтейского коэффициента в функции от скорости. В работе приводятся соответствующие коэффициенты для двухкомпонентной формулы и регрессионная зависимость.*

*Passenger vessels operating on urban and domestic routes, on architectural and design solutions are divided into four main types. Main signs the division are decked and the principle of the location of passenger seats. On the basis of statistical analysis for each of the types identified impact passenger capacity on the magnitude of the displacement and the utilization rate. As well as depending on the passenger capacity of the identified sustainable regression dependences for determination of the main dimensions of the vessel for each of the selected types. In general, the obtained analytical dependences of design characteristics in a function of displacement. To estimate the power at the stage of conceptual design is proposed to use the dependence of the Admiralty coefficient as*