

М.С. Горохов
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА СТРОИТЕЛЬНУЮ СТОИМОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КОРПУСА СТОЕЧНОГО СУДНА

Ключевые слова: железобетонный корпус, межсекционные соединения, система набора, метод постройки, трудоемкость, технологические операции, количественный показатель, затраты, строительная стоимость.

Анализируется влияние конструктивно-технологических параметров железобетонного корпуса судна стоечного типа на его строительную стоимость. Предложена методика расчета межсекционных соединений железобетонного корпуса и его строительной стоимости, с учетом особенностей его конструкции и технологии постройки.

Величина строительной стоимости судна при принятой технологии постройки и производственных возможностях верфи тесно связана с особенностями конструкции корпуса, а именно с его системой набора. В судостроении различают четыре основные системы набора корпуса: продольную, поперечную и смешанную. Помимо этого, железобетонные суда вообще могут не иметь набора [1]. При обосновании системы набора, наиболее объективными критериями являются показатели трудоемкости и строительной стоимости железобетонного корпуса.

Для определения строительной стоимости судна необходимо выполнить расчет протяженности межсекционных соединений и трудоемкости постройки корпуса с различной системой набора при формировании его полностью сборным и сборно-моноклитным способом, при котором борта и палуба формируется из секций, а днище отливается моноклитным. При формировании корпуса полностью моноклитным способом, расчет протяженности межсекционных соединений будет отсутствовать, однако расчет трудоемкости будет дополнительно включать в себя такие позиции, как сборка и подготовка опалубки, сборка лесов, подмостей и временных опор, распалубка и демонтаж опалубки во внутренних отсеках корпуса.

Исходными данными для расчета протяженности межсекционных соединений служат главные размерения корпуса судна, толщины плит его перекрытий, максимальная грузоподъемность кранового оборудования корпусного цеха верфи, ширина пролета и шаг колонн корпусного цеха, шаг продольных и поперечных переборок, тип конструкции корпуса (наборная или безнаборная), система его набора (продольная, поперечная или смешанная) и способ постройки (сборный или сборно-моноклитный). В связи со спецификой ориентации секции в корпусе судна, под шириной секции подразумевается ее длинная сторона, под длиной секции – ее короткая сторона.

На первом этапе рассчитывается протяженность межсекционных соединений по днищу, для чего необходимо определиться с размерами секции.

Ширина корпуса судна B сопоставляется с максимально возможной шириной секции b_{max} , определяемой шириной пролета цеха. Если ширина корпуса меньше ширины b_{max} , то ширина секции принимается равной ширине корпуса судна, т.е. длинная сторона секции ориентируется поперек судна. Если же ширина корпуса больше b_{max} , то ширина секции принимается равной b_{max} , и длинная сторона секции ориентируется вдоль судна, то есть:

$$b_o = \begin{cases} B & \text{при } B < b_{max} \\ b_{max} & \text{при } B > b_{max} \end{cases} \quad (1)$$

Длина секции, исходя из условия ее возможно наибольшей массы, будет:

$$\ell_{\partial} = \frac{P_k}{k_c \cdot \rho_{\text{жб}} \cdot b \cdot t}, \quad (2)$$

где P_k – максимальная грузоподъемность кранового оборудования секционного участка корпусного цеха;

$\rho_{\text{жб}}$ – плотность железобетона;

b – принятая ширина секции;

t – толщина секции;

k_c – коэффициент, зависящий от наличия ребер набора. Для безнаборной конструкции $k_c=1$; при ориентации балок вдоль короткой стороны секции $k_c=1,6$; при ориентации балок вдоль длинной стороны секции $k_c=1,7$.

Полученное значение ℓ_{∂} сравнивается с максимально допустимой длиной секции ℓ_{max} , определяемой шагом колонн корпусного цеха.

Чтобы межсекционное соединение совпадало с местом стыковки внутренних переборок с днищем при наборной конструкции [2], длина секции окончательно определяется исходя из выполнения следующего условия:

$$\ell_{\partial} = \left. \frac{\ell_{\text{max}}}{a \cdot n_{\text{ш}}} \right|_{\text{min}}, \quad (3)$$

где a , $n_{\text{ш}}$ – принятая рамная шпация и число шпангоутов между поперечными переборками соответственно.

Найдя, таким образом, размеры секции, можно определить суммарную протяженность межсекционных соединений по днищу:

$$L_{\text{сд}} = L \cdot B \cdot \left(\frac{1}{\ell_{\partial}} + \frac{1}{b_{\partial}} \right), \quad (4)$$

где L – длина корпуса судна.

При безнаборной конструкции перекрытия, выполнение вышеупомянутого условия не обязательно.

Расположение и количество межсекционных соединений по палубе, при наборной конструкции корпуса, принимается таким же, как и для днища. При безнаборной конструкции палубного перекрытия, алгоритм размещения межсекционных соединений аналогичен алгоритму для днища наборной конструкции.

Длина секции борта принимается из условия:

если $H < \ell_{\text{max}}$

$$\ell_{\partial} = \left. \frac{H}{b_{\text{max}} \bigg|_{\text{min}}} \right|_{\text{min}}, \quad (5)$$

если $H > \ell_{\text{max}}$

$$b_{\partial} = H \quad (6)$$

Зная один из искомых размеров секции в плане, так же как и для днища, определяется второй размер, с учетом наличия или отсутствия ребер набора, и выполнения ограничения $b \leq b_{\text{max}}$.

Определив размеры секции, можно найти суммарную протяженность межсекционных соединений по борту:

$$L_{\text{сб}} = n_{\partial} \cdot H, \quad (7)$$

где n_{δ} – количество вертикальных межсекционных соединений по борту,

$$n_{\delta} = \begin{cases} \frac{L}{b_{\delta}} & \text{если } H < \ell_{\max} \\ \frac{L}{\ell_{\delta}} & \text{если } H > \ell_{\max} \end{cases}, \quad (8)$$

H – высота борта корпуса судна.

При сборно-монолитном методе постройки, при котором днище выполняется монолитным способом, протяженность межсекционных соединений по днищу принимаем равной протяженности стыка между обоими бортовыми перекрытиями и днищем, также учитываем протяженность стыков между внутренними переборками и остальными корпусными перекрытиями:

$$L_{c.пер} = 2 \cdot L + p \cdot 2(B + H) + u \cdot 2(L + H) + p \cdot u \cdot H \quad (9)$$

где p – количество поперечных переборок корпуса;
 u – количество продольных переборок корпуса.

В конечном итоге, полученные значения протяженностей межсекционных соединений по днищу, палубе, бортам и переборкам суммируются, и находится суммарная протяженность межсекционных соединений всего корпуса:

$$L_c = L_{cd} + L_{cn} + 2 \cdot L_{c\delta} + L_{c.пер} \quad (10)$$

При обосновании системы набора корпуса, расчет трудоемкости следует представить в виде суммы трудоемкостей наиболее значимых работ [5], и учесть влияние на них конструктивных параметров, зависящих от системы набора железобетонного корпуса:

$$T = \sum_{i=1}^{15} T_i + T_n \quad (11)$$

где T_i , T_n – трудоемкость i -го вида работы, величина которой зависит и не зависит от системы набора корпуса соответственно.

Трудоемкость i -ой технологической работы может быть определена:

$$T_i = t_i \cdot v_i \quad (12)$$

где t_i – удельный показатель трудоемкости i -ой технологической работы;
 v_i – количественный показатель i -ой технологической работы.

Основную заработную плату (ОЗР) производственных рабочих, участвующих в строительстве железобетонного корпуса можно представить в виде суммы двух составляющих:

$$P_{зн} = P_{зк} + P_{зо}, \quad (13)$$

где $P_{зк}$, $P_{зо}$ – ОЗР за работы по изготовлению секций и формированию корпуса, зависящие и не зависящие от системы набора корпуса соответственно.

Для расчета ОЗР используется стоимость одного часа для i -ой технологической операции f_i . Величина f_i зависит от многих производственных и экономических факторов, характерных для конкретного предприятия.

Строительная стоимость железобетонного корпуса на ранних этапах его проектирования представляет собой сумму различных укрупненных статей затрат в составе полной себестоимости корпуса [4]:

$$C = \sum_{i=1}^7 C_i \quad (14)$$

- где C_1 – затраты на сырье и строительные материалы (включает в себя стоимость сырья, покупных изделий и контрагентских поставок);
 C_2 – транспортно-заготовительные расходы, принимаемые в размере 15% от стоимости сырья и материалов;
 C_3 – основная заработная плата производственных рабочих $P_{зп}$;
 C_4 – доплаты по прогрессивно-премиальной системе в размере 60% от основной заработной платы;
 C_5 – дополнительная заработная плата производственных рабочих в размере 15% от суммы основной и дополнительной заработной платы;
 C_6 – отчисления на социальные нужды в размере 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы и доплат по прогрессивно-премиальной системе;
 C_7 – расходы на обслуживание производства принимаемые в размере 650% от основной заработной платы производственных рабочих.

Затраты на сырье и строительные материалы C_1 могут быть определены:

$$C_1 = m_c \cdot P_{1m} + m_{арм} \cdot P_{арм} \quad (15)$$

- где m_c , $m_{арм}$ – масса сырья (компонентов бетонной смеси) и арматурной стали требуемой для постройки корпуса, определяемая по методике [3];
 $P_{1г}$, $P_{арм}$ – стоимость одной тонны сырья, необходимой для приготовления одной тонны бетонной смеси, и одной тонны арматурной стали.

При подсчете массы сырья и арматурной стали учитывается нормативный процент отхода и неточности изготовления конструкции.

Предлагаемая методика позволяет рассчитать строительную стоимость корпуса с учетом особенностей его конструкции и технологии постройки. Полученная величина строительной стоимости является наиболее объективным критерием при обосновании той или иной конструкции и системы набора корпуса, и в дальнейшем может быть использована при оценке экономической эффективности строительства и эксплуатации стоечного судна с железобетонным корпусом.

Список литературы

- [1] Бондурянский З.П., Дьячков М.А., Меламед Э.Е., Морские железобетонные суда (проектирование корпуса) / З. П. Бондурянский и др. – Л.: Судостроение, 1966. – 200 с.
 [2] Егоров Н.М. Справочник по железобетонному судостроению (суда внутреннего плавания) / Н. М. Егоров и др. – Л.: Судостроение, 1969. – 356 с.
 [3] Горохов М.С., Роннов Е. П., Определение массы корпуса железобетонного стоечного судна на стадии исследовательского проектирования / М. С. Горохов, Е. П. Роннов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 2.
 [4] Инструкция по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции (работ, услуг) на предприятиях судостроительной отрасли Российской Федерации. – СПб.: ЦНИИ «Румб», 1993. – 136 с.
 [5] Постройка корпусов железобетонных и понтонов композитных судов, плавучих надводных сооружений и причалов различных типов: Нормативы времени. Единичное и серийное производство. МЛТИ-120-2743-89. – ЦНИИТС, 1989. – 109 с.