

## ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

УДК 629. 5. 001

Нгуен Вьет Хоан

### МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛЫХ ДЕРЕВЯННЫХ РЫБОЛОВНЫХ СУДОВ

Государственный университет, г. Хайфон (Вьетнам)

Разработана математическая модель выбора оптимального варианта малого рыболовного деревянного судна на начальных стадиях проектирования. Сформулированы алгоритм выбора оптимального варианта судна и задача синтеза проектирования.

*Ключевые слова:* математическая модель, оптимизация, рыболовные суда, деревянные суда.

Деревянное судостроение прошло большую и интересную историю. Возникнув много веков назад, оно развивалось и совершенствовалось вместе с другими отраслями производства. Применение металла привело к быстрому вытеснению дерева в крупном судостроении. Но дерево и в настоящее время продолжает конкурировать с металлом в малотоннажном судостроении, особенно в строительстве маломерных рыболовных судов стран Юго-Восточной Азии.

Для рыболовного флота СРВ за последние 20 лет (1989–2009 гг.) отмечены следующие тенденции:

- ежегодно в СРВ наблюдается существенное пополнение рыболовного флота страны: с 30 (1989 г.) до 81 тыс. судов (2009 г.);
- суммарная мощность главных двигателей и степень оснащения современным оборудованием быстро возрастает: 368 (1989 г.) до 3091 тыс. кВт (2009 г.);
- удельный годовой вылов на один киловатт мощности флота упал в три раза: 1,56 (1989 г.) до 0,5 т/кВт (2009 г.).

Уменьшение удельного вылова на один киловатт, на наш взгляд, можно объяснить двумя основными причинами:

- резким ростом количества судов, который привел к сокращению запасов рыбы, росту конкуренции в традиционных видах рыболовства;
- МДРС проектируются и строятся во Вьетнаме без должных технических и экономических обоснований, следовательно, и неэффективно эксплуатируются.

Обзор методик проектирования МДРС во Вьетнаме показывает, что применяемые методики являются малоэффективными. Постройка МДРС осуществляется по традиционному вьетнамскому опыту судостроения. При этом судостроители не используют каких-либо правил проектирования и расчетов. Недостатком данного подхода является то, что качество построенных судов практически не предсказуемо. Остойчивость таких судов не проверяется, что не гарантирует судам безопасной эксплуатации. Проектирование судов по традиционному способу требует значительных затрат времени, поскольку если остойчивость судна не обеспечивается, то необходимо вернуться к началу процесса проектирования. Экономические факторы проектантами не учитываются, что не гарантирует эффективности эксплуатации флота.

Так называемое оптимизационное проектирование базируется на методе проектирования по традиционному подходу, но с использованием в качестве уравнения проектирования формулы остойчивости, разработанной Нгуен Куанг Минем, что позволяет ускорить процесс проектирования судна. Однако оптимальный вариант по этой методике выбирается не по экономическим критериям, что не гарантирует эффективности эксплуатации спроектированных и построенных судов, а лишь базируется на обеспечении одного мореходного качества - остойчивости.

При обзоре состояния теории проектирования МДРС особое внимание уделено роли уточненного расчета нагрузки масс и координат ЦТ масс судов на начальных стадиях проектирования. Возможность более точного определения и уточнения нагрузки масс и координат ЦТ масс судна на начальных стадиях сокращает время на проверочные расчеты в следующих этапах и предотвращает грубые ошибки при проектировании. Для рыболовных судов ошибки в определении нагрузки масс и координат ЦТ масс приводят к необходимости принятия на судно значительного количества балласта, что лишает МДРС части грузоподъемности.

Из-за недостатка необходимых данных по нагрузке масс построенных и спроектированных МДРС было принято решение о проектировании серии МДРС с традиционной вьетнамской формой обводов. Элементы конструкции корпуса судов серии набраны по Правилам классификации и постройки МДРС Вьетнама. Проекты судов серии разработаны до стадии эскизного проекта.

Дана оценка диапазона изменения главных размерений, их соотношений, коэффициентов полноты МДРС Вьетнама и мира. Проведен анализ архитектурно-конструктивных типов, конструкций и материалов корпусов МДРС Вьетнама. Принятые характеристики серии МДРС представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Основные характеристики судов серии МДРС

Характеристика	Принятые варьируемые величины
Расчетная длина судна $L$ , м	14,0; 18,0; 22,0; 26,0; 30,0
Отношение $L/B$	2,50; 3,00; 4,00; 5,00
Отношение $L/H$	5,00; 6,00; 7,00; 9,00
Отношение $T/H$	0,550; 0,650; 0,750
Коэффициент общей полноты $\delta$	0,490; 0,600; 0,650
Коэффициент продольной полноты $\varphi$	0,540; 0,657; 0,720
Длина машинного отделения	0,25L; 0,30L; 0,35L
Длина рубки	0,20L; 0,25L; 0,30L; 0,35L; 0,40L
Система набора корпуса и рубки	Поперечная
Расположение машинного отделения	Кормовое расположение
Расположение рубки	Кормовое расположение
Набор конструкции корпуса	Традиционный однорядный набор
Материал корпуса и рубки	Древесина групп II и III
Практическая шпация $a_n$ , м	0,30; 0,40; 0,50; 0,60

При вариации расчетной длины, соотношений главных размерений, коэффициентов полноты построены 45 вариантов теоретических чертежей серии путем аффинного преобразования обводов судна прототипа. При вариации практической шпации и материала корпуса получены 270 вариантов конструктивных чертежей судов серии. Нагрузка масс МДРС была разбита на 30 статей водоизмещения порожнем и 7 разделов дедвейта. На рис. 1, в качестве примера, представлен чертеж модели №16 серии МДРС.

Алгоритм расчета масс и координат ЦТ статей нагрузки деревянного корпуса судна

базируется на использовании многофакторного регрессионного анализа. Используется разложение в ряд Тейлора:

$$f(x_1, \dots, x_k) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{i,j=1}^k a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

где  $a_i$  - коэффициенты уравнения,  $x_{i,j}$  - факторы.

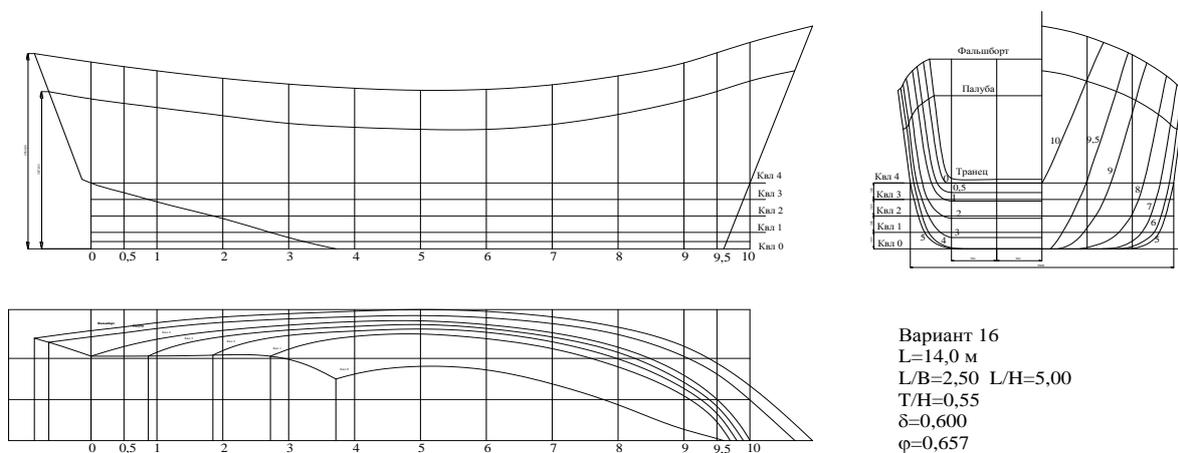


Рис. 1. Теоретический чертеж модели №16 серии МДРС

Масса и координаты ЦТ каждой статьи нагрузки могут быть выражены в зависимости от характеристик судна через (1).

При этом выбор факторов влияния производился путем анализа графиков зависимостей измерителей масс и относительных координат ЦТ статей нагрузки от главных характеристик судна. Математические модели получаются в результате решения системы уравнений вида (1). Количество уравнений вида (1), или количество вариантов судов, требуемых для создания математических моделей, зависит от количества коэффициентов разложения (1). Не используемые в создании математических моделей варианты судов систематической серии МДРС были применены для оценки погрешностей разработанных моделей. Адекватность математических моделей проверена на ряде реальных судов, построенных по тем же правилам проектирования, но в различных конструкторских бюро Вьетнама.

Выявлено, что  $P_H / L$  существенно зависит от соотношений главных размерений, коэффициентов полноты и практической шпации. Предлагаемая зависимость для удельной массы наружной обшивки имеет вид

$$P_H / L = f\left(\frac{L}{B}, \frac{L}{H}, \frac{T}{H}, \delta, \varphi, a_{II}\right). \quad (2)$$

Используя уравнение (1) в квадратичной степенной форме получено уравнение регрессии для удельной массы наружной обшивки:

$$\begin{aligned} P_H / L = f\left(\frac{L}{B}, \frac{L}{H}, \frac{T}{H}, \delta, \varphi, a_{II}\right) = & a_0 + a_1 \cdot \frac{L}{B} + a_2 \cdot \frac{L}{H} + a_3 \cdot \frac{T}{H} + a_4 \cdot \delta + a_5 \cdot \varphi + \\ & + a_6 \cdot a_{II} + a_7 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2 + a_8 \cdot \left(\frac{L}{H}\right)^2 + a_9 \cdot \left(\frac{T}{H}\right)^2 + a_{10} \cdot \delta^2 + a_{11} \cdot \varphi^2 + a_{12} \cdot a_{II}^2 + \\ & + a_{13} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \left(\frac{L}{H}\right) + a_{14} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \left(\frac{T}{H}\right) + a_{15} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \delta + a_{16} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \varphi + a_{17} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot a_{II} + \\ & + a_{18} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \left(\frac{T}{H}\right) + a_{19} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \delta + a_{20} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \varphi + a_{21} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot a_{II} + a_{22} \cdot \left(\frac{T}{H}\right) \cdot \delta + \\ & + a_{23} \cdot \left(\frac{T}{H}\right) \cdot \varphi + a_{24} \cdot \left(\frac{T}{H}\right) \cdot a_{II} + a_{25} \cdot \delta \cdot \varphi + a_{26} \cdot \delta \cdot a_{II} + a_{27} \cdot \varphi \cdot a_{II} \end{aligned} \quad (3)$$

Для нахождения коэффициентов  $a_i$  уравнения (3) было использовано 28 вариантов моделей серии МДРС. Остальные варианты, не использованные при решении (3), применены для определения погрешностей полученной формулы (3). При применении древесины ТАУ (древесина группы II, плотность которой равна  $0,85 \text{ т/м}^3$  при влажности 15%) получены коэффициенты уравнения (3), которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов уравнения (3)

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
-544,80	-231,83	3,36	4580,40	23647,09	-21645,33	-2359,71
$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
-2,07	0,34	-9209,57	-1157486,85	-932556,95	0,61	1,51
$a_{14}$	$a_{15}$	$a_{16}$	$a_{17}$	$a_{18}$	$a_{19}$	$a_{20}$
945,59	-8,99	8,14	-944,29	-22,25	2,79	-2,54
$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$	$a_{25}$	$a_{26}$	$a_{27}$
0,09	91,18	-82,61	9440,11	2078245,61	-36,28	33,36

Среднее квадратичное отклонение, получаемое при использовании формулы (3), для остальных вариантов судов систематической серии МДРС, не задействованных в решении (3), составляет не более 1 %.

Зависимость для относительной аппликаты ЦТ масс наружной обшивки имеет вид

$$(Zg/H)_{н.о.} = f\left(\frac{L}{B}, \frac{L}{H}, \frac{T}{H}, \delta, \varphi, a_{\Pi}\right), \quad (4)$$

где  $(Zg/H)_{н.о.}$  - относительная аппликата ЦТ масс наружной обшивки.

Используя уравнение (1) в квадратичной степенной форме, получено уравнение регрессии для аппликаты ЦТ масс наружной обшивки:

$$\begin{aligned} (Zg/H)_{н.о.} = f\left(\frac{L}{B}, \frac{L}{H}, \frac{T}{H}, \delta, \varphi, a_{\Pi}\right) = & a_{0(Zg/H)}^{н.о.} + a_{1(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \frac{L}{B} + \\ & + a_{2(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \frac{L}{H} + a_{3(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \frac{T}{H} + a_{4(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \delta + a_{5(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \varphi + a_{6(Zg/H)}^{н.о.} \cdot a_{\Pi} + \\ & + a_{7(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2 + a_{8(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right)^2 + a_{9(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{T}{H}\right)^2 + a_{10(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \delta^2 + \\ & + a_{11(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \varphi^2 + a_{12(Zg/H)}^{н.о.} \cdot a_{\Pi}^2 + a_{13(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \left(\frac{L}{H}\right) + a_{14(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \left(\frac{T}{H}\right) + \\ & + a_{15(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \delta + a_{16(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \varphi + a_{17(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot a_{\Pi} + a_{18(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \left(\frac{T}{H}\right) + \\ & + a_{19(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \delta + a_{20(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \varphi + a_{21(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot a_{\Pi} + a_{22(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{T}{H}\right) \cdot \delta + \\ & + a_{23(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{T}{H}\right) \cdot \varphi + a_{24(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{T}{H}\right) \cdot a_{\Pi} + a_{25(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \delta \cdot \varphi + a_{26(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \delta \cdot a_{\Pi} + \\ & + a_{27(Zg/H)}^{н.о.} \cdot \varphi \cdot a_{\Pi} \end{aligned} \quad (5)$$

где  $a_{i(Zg/H)}^{н.о.}$  - коэффициенты разложения для относительной аппликаты ЦТ масс наружной обшивки. Для нахождения коэффициентов  $a_{i(Zg/H)}^{н.о.}$  уравнения (5) требуется использование 28 вариантов серии МДРС. Коэффициенты уравнения (5) представлены в табл. 3 для древесины группы II.

Среднее квадратичное отклонение, получаемое при применении формулы (5) для остальных вариантов судов серии, не принимавших участия в решении (5), не превышает 3,71%.

Таблица 3

Коэффициенты уравнения (5)

$a_{0(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{1(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{2(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{3(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{4(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{5(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{6(Zg/H)}^{н.о.}$
-1223,46	-615,89	11,84	12120,53	235409,20	-215683,89	-6312,47
$a_{7(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{8(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{9(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{10(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{11(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{12(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{13(Zg/H)}^{н.о.}$
7,84	1,09	-24440,64	12747070,94	10304818,95	8,44	5,44
$a_{14(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{15(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{16(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{17(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{18(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{19(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{20(Zg/H)}^{н.о.}$
2531,55	-43,96	40,43	-2522,81	-75,14	18,96	-17,71
$a_{21(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{22(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{23(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{24(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{25(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{26(Zg/H)}^{н.о.}$	$a_{27(Zg/H)}^{н.о.}$
-1,80	350,89	-316,05	25244,36	22925422,18	-319,83	293,72

Зависимость для относительной абсциссы ЦТ масс наружной обшивки имеет вид

$$(Xg/L)_{н.о.} = f\left(\frac{L}{B}, \frac{L}{H}, \frac{T}{H}, \delta, \varphi\right), \tag{6}$$

где  $(Xg/L)_{н.о.}$  - относительная абсцисса ЦТ масс наружной обшивки. Используя уравнение (1) в квадратичной степенной форме, получено уравнение регрессии для относительной абсциссы ЦТ наружной обшивки:

$$\begin{aligned} (Xg/L)_{н.о.} = f\left(\frac{L}{B}, \frac{L}{H}, \frac{T}{H}, \delta, \varphi\right) = & a_{0(Xg/L)}^{н.о.} + a_{1(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \frac{L}{B} + a_{2(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \frac{L}{H} + \\ & + a_{3(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \frac{T}{H} + a_{4(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \delta + a_{5(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \varphi + a_{6(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2 + a_{7(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right)^2 + \\ & + a_{8(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{T}{H}\right)^2 + a_{9(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \delta^2 + a_{10(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \varphi^2 + a_{11(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \left(\frac{L}{H}\right) + \\ & + a_{12(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \left(\frac{T}{H}\right) + a_{13(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \delta + a_{14(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{B}\right) \cdot \varphi + \\ & + a_{15(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \left(\frac{T}{H}\right) + a_{16(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \delta + a_{17(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \varphi + a_{18(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{T}{H}\right) \cdot \delta + \\ & + a_{19(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \left(\frac{T}{H}\right) \cdot \varphi + a_{20(Xg/L)}^{н.о.} \cdot \delta \cdot \varphi \end{aligned} \tag{7}$$

где  $a_{i(Xg/L)}^{н.о.}$  - коэффициенты разложения для относительной абсциссы ЦТ масс наружной обшивки. Для нахождения коэффициентов  $a_{i(Xg/L)}^{н.о.}$  уравнения (7) требуется 21 вариант моделей серии МДРС. Коэффициенты уравнения (7) представлены в табл. 4 для древесины группы II.

Среднее квадратичное отклонение, получаемое при применении формулы (7), для остальных вариантов судов серии, не принимающих участие в решении (7), составляет не более 2,76 %.

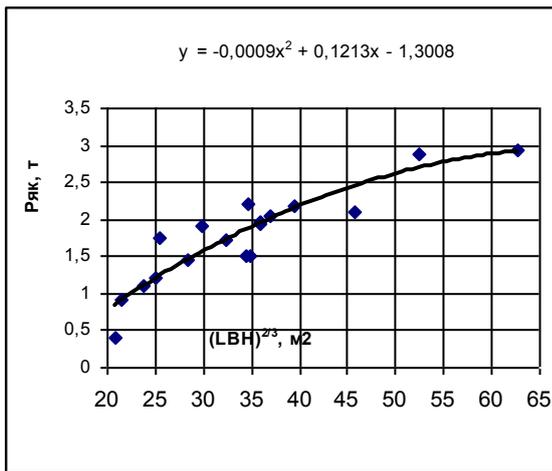
Таблица 4

Коэффициенты уравнения (7)

$a_{0(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{1(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{2(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{3(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{4(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{5(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{6(Xg/L)}^{н.о.}$
-46,00	-0,05	-0,07	1,97	3878,96	-3386,06	0,01
$a_{7(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{8(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{9(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{10(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{11(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{12(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{13(Xg/L)}^{н.о.}$
0,01	-1,00	746041,51	627538,54	-0,02	0,22	10,66
$a_{14(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{15(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{16(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{17(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{18(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{19(Xg/L)}^{н.о.}$	$a_{20(Xg/L)}^{н.о.}$
-9,77	-0,15	-10,57	9,69	107,05	-98,13	-1368615,69

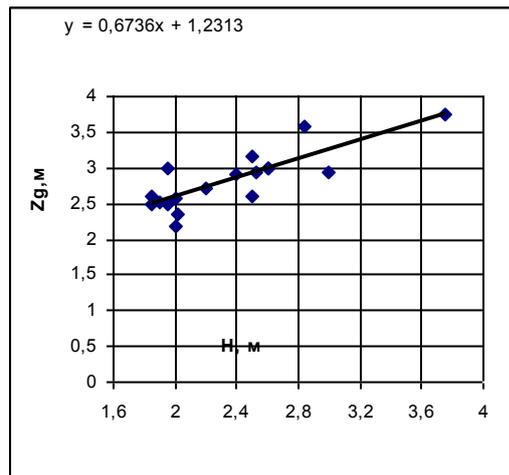
Аналогичным образом разработаны функциональные зависимости для масс и координат ЦТ других 17 статей нагрузки деревянного корпуса.

Зависимости нагрузки масс и относительных координат ЦТ остальных 12 статей нагрузки судна порожнем разработаны путем статистической обработки данных по построенным и спроектированным МДРС СССР. Для разработки таких зависимостей были использованы данные МДРС длиной между перпендикулярами  $L = 11,5 \div 26,0$  м, шириной расчетной  $B = 3,90 \div 6,10$  м, с высотой борта до верхней палубы  $H = 1,50 \div 3,00$  м, мощностью силовой установки  $N = 50 \div 300$  л.с. Особенности архитектурно-конструктивного типа всех собранных МДРС являются кормовое расположение машинного отделения под рулевой рубкой и носовое расположение рыбного трюма. В качестве примеров представлены графики зависимостей массы и относительных координат ЦТ якорного устройства (рис. 2–4).



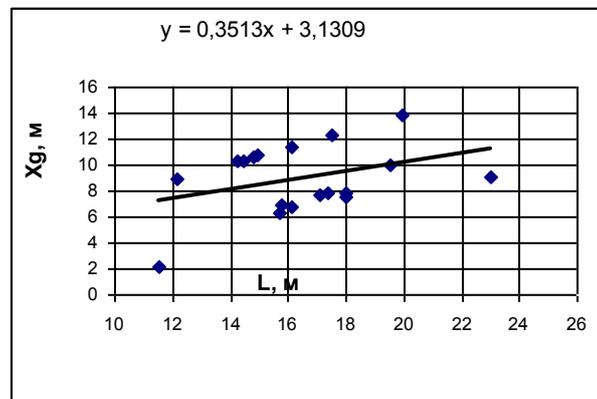
**Рис. 2. Зависимость массы якорного устройства от модуля  $(LBH)^{2/3}$ :**

$y$  – масса якорного устройства  $P_{ЯК}$ , т;  
 $x$  – модуль зависимости  $(LBH)^{2/3}$



**Рис. 3. Зависимость аппликаты центра тяжести масс якорного устройства:**

$y$  – аппликата ЦТ якорного устройства  $Z_G$  от основной плоскости;  
 $x$  – модуль зависимости  $H$



**Рис. 4. Зависимость абсциссы центра тяжести масс якорного устройства:**

$y$  – абсцисса ЦТ якорного устройства  $X_G$  от плоскости мидель - шпангоута, м («+» - в нос, «-» - в корму);  
 $x$  – модуль зависимости  $L$

Зависимость для определения массы якорного устройства:

$$P_{\text{як}} = -0,0009 \cdot (LBH)^{4/3} + 0,1213 \cdot (LBH)^{2/3} - 1,301, \text{ т.} \quad (8)$$

Зависимость для подсчета аппликаты ЦТ якорного устройства:

$$Z_G = 0,6736 \cdot H + 1,231, \text{ м.} \quad (9)$$

Зависимость абсциссы ЦТ якорного устройства:

$$X_G = 0,3513 \cdot L + 3,131, \text{ м.} \quad (10)$$

Функциональные зависимости, связывающие массу и относительные координаты ЦТ статей нагрузки дедвейта судна от его основных характеристик, были разработаны для нескольких типовых случаев нагрузки, при которых требуется проверка остойчивости и посадки судна. По правилам Регистра Вьетнама остойчивость рыболовного судна должна быть проверена для следующих случаев нагрузки:

- выход на промысел с полными запасами;
- возвращение с промысла с полным уловом в трюме и 10 % запасов;
- возвращение с промысла с 20 % улова в трюме, с 70 % нормы льда и соли и с 10 % запасов.

Адекватность разработанной методики пересчета масс и координат ЦТ МДРС проверена на реальных проектах судов, построенных различными конструкторскими бюро Вьетнама, путем оценки погрешностей в определении водоизмещения и координат ЦТ судов.

В табл. 5–7 представлены расчеты сравнения и относительные погрешности в определении водоизмещения и координат ЦТ этих судов для различных случаев нагрузки.

Таблица 5

**Сравнение нагрузки масс и координат центра тяжести масс МДРС СРВ  
в случае нагрузки «100% улова + 10% запасов»**

Проект	По методике			Проект			Относит. погрешность, %		
	$P, \text{ т}$	$X_g, \text{ м}$	$Z_g, \text{ м}$	$P, \text{ т}$	$X_g, \text{ м}$	$Z_g, \text{ м}$	$\delta P, \%$	$\delta X_g, \%$	$\delta Z_g, \%$
ВТН-195-BTS	59,89	0,764	1,528	57,54	0,684	1,570	4,1	11,7	-2,7
ВТН-182-BTS	52,32	0,243	1,426	53,10	0,225	1,523	-1,5	7,9	-6,4
ВТН-176-BTS	55,49	-0,316	1,407	52,46	-0,363	1,379	5,8	-13,0	2,0
КН-015	71,28	0,596	1,639	73,91	0,624	1,635	-3,6	-4,4	0,3
КН-014	92,89	0,326	1,651	98,74	0,332	1,669	-5,9	-1,6	-1,1
QNg-04-BTS	68,50	0,091	1,688	72,67	0,079	1,712	-5,7	14,4	-1,4
QNg-23-BTS	100,00	0,482	1,690	104,51	0,553	1,742	-4,3	-12,8	-3,0
BRVT-02-BTS	156,46	0,417	2,445	159,36	0,447	2,405	-1,8	-6,6	1,6

Таблица 6

**Сравнение нагрузки масс и координат центра тяжести масс МДРС СРВ  
в случае нагрузки «Выход судна на промысел»**

Проект	По методике			Проект			Относит. погрешность, %		
	$P, \text{ т}$	$X_g, \text{ м}$	$Z_g, \text{ м}$	$P, \text{ т}$	$X_g, \text{ м}$	$Z_g, \text{ м}$	$\delta P, \%$	$\delta X_g, \%$	$\delta Z_g, \%$
ВТН-195-BTS	52,05	0,276	1,460	51,33	0,257	1,560	1,4	7,4	-6,4
ВТН-182-BTS	52,98	0,320	1,747	53,68	0,315	1,880	-1,3	1,7	-7,1
ВТН-176-BTS	53,22	-0,329	1,340	52,95	-0,303	1,402	0,5	8,4	-4,4
КН-015	68,23	0,126	1,504	71,86	0,145	1,605	-5,1	-12,9	-6,3
КН-014	89,83	-0,374	1,598	94,23	-0,342	1,671	-4,7	9,4	-4,3
QNg-04-BTS	62,17	-0,047	1,598	65,20	-0,041	1,648	-4,7	13,0	-3,1
QNg-23-BTS	98,15	-0,316	1,645	102,36	-0,274	1,689	-4,1	15,4	-2,6
BRVT-02-BTS	153,50	0,065	2,247	149,19	0,073	2,318	2,9	-11,1	-3,0

Таблица 7

**Сравнение нагрузки масс и координат центра тяжести МДРС СРВ  
в случае нагрузки «20% улова + 70% льда + 10% запасов»**

Проект	По методике			Проект			Относит. погрешность, %		
	$P, \text{ т}$	$Xg, \text{ м}$	$Zg, \text{ м}$	$P, \text{ т}$	$Xg, \text{ м}$	$Zg, \text{ м}$	$\delta P, \%$	$\delta Xg, \%$	$\delta Zg, \%$
ВТН-195-BTS	47,80	0,125	1,567	45,90	0,116	1,650	4,1	8,2	-5,0
ВТН-182-BTS	42,56	0,146	1,471	44,60	0,165	1,554	-4,6	-11,4	-5,3
ВТН-176-BTS	47,77	-0,550	1,395	46,36	-0,505	1,418	3,0	9,0	-1,7
КН-015	58,39	0,357	1,682	61,41	0,325	1,681	-4,9	9,7	0,1
КН-014	79,12	-0,159	1,699	82,24	-0,142	1,718	-3,8	12,4	-1,1
QNg-04-BTS	57,08	-0,005	1,699	60,17	-0,006	1,780	-5,1	-14,0	-4,6
QNg-23-BTS	85,24	0,070	1,767	89,21	0,082	1,810	-4,4	-15,2	-2,4
BRVT-02-BTS	129,99	0,055	2,476	124,91	0,051	2,465	4,1	7,5	0,5

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод, что погрешности в определении полного водоизмещения в целом удовлетворяют стадии технического предложения и эскизного проектирования. Максимальные относительные погрешности оценки водоизмещения не превысили – 5,8%, а аппликаты ЦТ – 7,1%. Погрешности в определении абсциссы ЦТ масс для трех случаев нагрузки судов оказались более высокими, достигая -15,4%, однако на этой стадии проектирования начинается разработка эскиза вида общего и существует возможность откорректировать размещение цистерн и трюмов по условиям оптимизации посадки в различных случаях нагрузки. Повышенная погрешность оценки абсциссы ЦТ МДРС объясняется тем, что в разработанной методике начало системы координат для абсцисс ЦТ масс находится на миделе. Поэтому при расположении ЦТ судов в районе миделя относительные погрешности в определении абсцисс ЦТ масс столь высоки, но фактические погрешности оценки абсцисс ЦТ масс не превышают  $5 \div 10$  см.

Разработана математическая модель выбора оптимального варианта МДРС на начальных стадиях проектирования. Алгоритм выбора оптимального варианта судна и задача синтеза проектирования МДРС формулируются следующим образом:

$$C(c_1, \dots, c_p); X(x_1, \dots, x_n); (x_i) \min \leq x_i \leq (x_i)_{\max}, \quad i = 1, \dots, n;$$

$$G_j(X, C) \geq Y_j, \quad j = 1, \dots, m; \quad \text{extr } Z(X, C).$$

где  $C(c_1, \dots, c_p)$  – вектор параметров задания;  $X(x_1, \dots, x_n)$  – вектор искомых характеристик судна;  $x_{\min}$  – минимальные и  $x_{\max}$  – максимальные допускаемые величины оптимизируемых переменных;  $G_j$  – функциональное ограничение;  $Y_j$  – заданное требование проектируемого судна к данному  $j$  – качеству;  $Z$  – критерий эффективности (функция цели).

Элементы вектора параметров задания представляют собой количественные и качественные требования к проекту. Например, его компонентами являются полная грузоподъемность  $P_{ГР}$ , скорость свободного хода  $v_s$ , дальность плавания, срок инвестиций и т.д.

Компонентами вектора искомых характеристик судна являются главные размерения судна, коэффициенты полноты, полная грузоподъемность  $P_{ГР}$ , скорость свободного хода  $v_s$  и т.п. Функциональные ограничения, описанные в виде неравенств, базируются на основных условиях существования и работоспособности проектируемой системы. Критерий эффективности (функция цели) применяется для глобальной оценки соответствия качеств синтезируемой системы. Значение критерия эффективности для наилучшего варианта экстремально. В качестве критерия может использоваться любой экономический критерий, рассчитанный за срок инвестиционного проекта рыбопромышленного бизнеса.

В разработанной математической модели в качестве элементов вектора параметров задания применяются следующие:

- назначение судна (траулер, сейнер или дрейфтер);
- удаленность района промысла от берега, миль;

- срок инвестиционного проекта, лет.  
В качестве компонентов вектора искомых характеристик судна принимаются:
- $P_{GP}$ , т - полная грузоподъемность судна с учетом тары и льда;
- $v_s$ , уз. - скорость свободного хода;
- $L$ , м – расчетная длина судна;
- $L/B$  – отношение расчетной длины к ширине судна;
- $L/H$  – отношение расчетной длины к высоте борта судна.

В качестве функциональных ограничений принимаются требования обеспечения остойчивости по Правилам регистра Вьетнама для некоторых типовых случаев нагрузки судна, при которых требуется проверка остойчивости.

*Дата поступления  
в редакцию 29.04.2011*

**Nguyen Viet Hoan**

### **DESIGN OF SMALL WOODEN FISHERIES BOAT**

A mathematical model for choosing the optimal design of small wooden fishing boat in the early design stages are created. Formulated the algorithm for selecting the optimal design of the boat and the problem of synthesis problem of design.

*Key words:* mathematical model, optimization, fisheries boat, wooden ship.