

УДК 629.5.01(06)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОМЫСЛОВОГО СУДНА ПРИБРЕЖНОГО ЛОВА ИЗ КОМПОЗИТОВ

М.Э. Францев, И.М. Францев

АОЗТ «Нептун-Судомонтаж», 141703, Россия, Московская обл., г. Долгопрудный, п. Водники, E-mail: [gepard629@yandex.ru](mailto:gepard629@yandex.ru)

Тема статьи относится к морской технике, а именно к области проектирования промысловых судов из композитов. Использование численных методов при реализации задачи параметрического проектирования для определения основных характеристик промыслового судна на ранних стадиях разработки позволяет совершенствовать процесс проектирования. В статье излагаются результаты расчетов с помощью ПК по схеме параметрического проектирования промысловых судов из композитов.

*численные методы, параметрическое проектирование, промысловые суда из композитов*

Сегодня большую часть мирового малотоннажного промыслового флота составляют суда, имеющие корпуса из композитов, однако в современной России они не проектируются и не строятся. Необходимость в судах такого типа существует и в нашей стране. Это приводит к переориентации ряда отечественных судовладельцев на продукцию зарубежного судостроения (рис. 1). В качестве примеров можно привести многочисленные факты приобретения рыбаками Дальнего Востока промысловых судов из композитов, бывших в употреблении в Японии, где в эксплуатации находится более трехсот тысяч судов этого типа. Приобретают промысловые суда из композитных материалов в Норвегии и рыбаки Европейского Севера России, в первую очередь те, кто ведет промысел в бассейне Белого моря [1, 2].



Рис. 1. Промысловые скоростные суда из композитов производства Японии (справа) и Норвегии (слева)

Fig. 1. Fishing speedy trial of the composites produced in Japan (right) and Norway (left)

Для расширения возможностей создания отечественных промысловых композитных судов прибрежного лова для работы на удалении 4-20 миль от берега в настоящее время необходимо решить ряд проблем как в области совершенствования проектных характеристик судов и их оптимизации, так и в области улучшения структуры всего процесса проектирования. Необходима разработка способов проектного обоснования таких судов, учитывающих различные аспекты их последующей эксплуатации и обеспечивающих их конкурентоспособность.

Современные стандарты проектирования предусматривают последовательное снижение затрат на наиболее дорогие и сложные разделы проекта (например, разработка гидродинамического комплекса), которые реализуются на базе единой выполненной научной исследований и накопленного опыта эксплуатации. Этим же обусловлена все более широкая замена при проектировании натурального эксперимента численным расчетом.

В этой связи представляется востребованной вариативная модель проектирования, опирающаяся на использование параметрических методов. Она позволяет проектанту, в рамках экономической целесообразности, быстро переходить от одного размера судна к другому, связывая конструктивные элементы судна и определяющие их параметры посредством проектных ограничений, определяемых условиями эксплуатации. Накладывая и удаляя такие ограничения, а также изменяя значения параметров, разработчик может изменять элементы проектируемого судна.

Проектирование промыслового судна прибрежного лова из композитов должно обладать сбалансированной совокупностью эксплуатационных качеств, отвечающих ожиданиям потенциальных заказчиков. Поэтому в современных условиях быстрого технологического развития экономики, когда у разработчика нет возможности искать оптимальное решение методом проб и ошибок, весьма остро стоит вопрос об оптимизации конструкции малотоннажного судна, проектирование которого ограничено ресурсами.

Способ параметрического проектирования позволяет формализовать процессы выбора оптимальной структуры характеристик скоростного проектируемого промыслового судна из композитов с помощью разработанной методической общности задач анализа информации о ранее построенных судах подобного типа и синтеза проектных обоснований. При этом проектировщик оперирует на единой основе множеством технических показателей характеристик судов (масса, размеры, мощность и их соотношения) и показателей качества функционального использования (эксплуатационные и экономические характеристики) с помощью специфических экономико-информационных и математических моделей различного типа и вида.

Основным принципом, реализуемым в способе структурно-параметрического проектирования промыслового судна, является выявление и оптимизация макропеременных, опирающаяся на анализ связанных с ними технико-экономических показателей, определяемых показателями функционального использования судна в эксплуатации в рассматриваемом размерном интервале. При этом используется двухуровневая иерархия упрощенной логико-математической модели, в которой верхний уровень модели связан с эксплуатационными качествами судна. Нижний уровень представляет собой систему основных проектировочных

уравнений, в которые в качестве переменных входит небольшое количество характеристик судна (параметров), к которым подстраиваются остальные [3, 4].

Физической моделью способа структурно-параметрического проектирования судов из композитов, в том числе скоростных, является подобие гидродинамических процессов на расчетных режимах движения в рамках единой компоновки всего судна. Это обусловлено относительно небольшим различием геометрических размеров наибольшего и наименьшего судов ряда (как правило, не более чем в пять раз).

Непосредственному структурно-параметрическому синтезу характеристик проектируемого судна предшествует разработка базы данных моделей множества возможных технических решений. Проектные характеристики построенных судов при этом организуются в виде множества возможных решений, а затем упорядочиваются по степени их относительной предпочтительности. Задача проектирования судна имеет несколько критериев оптимизации, из которых на последующих этапах проектирования выбирается основной критерий, поэтому при формировании базы данных необходимо стремиться к максимально возможному учету всех технико-экономических показателей, а также показателей функционального использования (эксплуатационных качеств) [3, 4].

Параметрический ряд судов - это упорядоченная совокупность числовых значений их проектных характеристик. В параметрических рядах, наряду с размерами судов, характеристиками их массы и мощности, важную роль играют отдельные элементы нагрузки масс, расходные характеристики судовой энергетической установки, особенности их движительных комплексов и пр. В случае группировки судов в параметрическом ряду по одному или нескольким ключевым признакам, например, таким, как особенности гидродинамического комплекса, а также другим конструктивно-технологическим решениям можно говорить о типоразмерном параметрическом ряду.

При выборе параметров для параметрических рядов, прежде всего, решается вопрос о мерности рядов. Параметрический ряд, построенный для одного главного параметра, будет одномерным. Обоснованный выбор параметров для построения параметрического ряда имеет большое значение для создания оптимального набора сбалансированных характеристик как одного судна, так и группы судов нескольких размеров.

В соответствии с описанным способом, главные размерения и отдельные статьи нагрузки масс представляются в виде функций независимой переменной. В качестве единой независимой переменной принимается величина базовой длины  $L^*$ . Она определяется в соответствии с ГОСТ 1062-80 «Размерения надводных кораблей и судов главные. Термины, определения и буквенные обозначения» и представляет собой габаритную длину судна в походном положении по несъемным частям. Эта величина очень информативна, потому что на базовой длине расположено подавляющее большинство масс судна. Часто в открытых источниках величины главных элементов построенных судов приводятся неполно, а в ряде случаев с искажениями. В то же время значения базовой длины этих судов, как правило, приводятся достоверно. Кроме того, базовая длина судна может быть измерена. Подробнее способ проектного обоснования главных элементов и других характеристик судов из композиционных материалов при помощи анализа баз

данных и представлении основных проектных характеристик в виде функции одного параметра – базовой длины рассмотрен в [5].

Сбалансированность проектных характеристик разрабатываемого судна определяется системой проектных уравнений: плавучести, нагрузки масс и мощности – ходкости, при этом для каждого из проектных вариантов она представляется в виде:

$$\begin{aligned}
 D &= f_5(L^*) = \gamma \delta L B T = \gamma f_1(L^*) f_2(L^*) f_3(L^*) f_4(L^*), \\
 D &= D_{nop} + DW = f_6(L^*) + f_7(L^*) = \\
 &= \sum_{i=1}^k P_i + \sum_{j=1}^l P_j = \sum_{i=1}^k f_i(L^*) + \sum_{j=1}^l f_j(L^*), \\
 N &= \frac{D^n V^m}{C_{mn}} = \frac{f_5(L^*)^n v^m}{\varphi(D, Fr_v)},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $f_1(L^*)$ ,  $f_2(L^*)$ ,  $f_3(L^*)$ ,  $f_4(L^*)$  - соответственно значения главных размерений;  $f_5(L^*)$  - значения полной массы;  $f_6(L^*)$  - значения водоизмещения порожнем;  $f_7(L^*)$  - значения дедвейта;  $f_i(L^*)$  - значения статей нагрузки масс по разделу «Водоизмещение порожнем»;  $f_j(L^*)$  - значения статей нагрузки масс по разделу «Дедвейт». При этом  $\varphi(D, Fr_v)$  - значения коэффициента, связывающего величины полной массы, мощности и скорости для анализируемых значений полной массы и скоростного интервала, представленного в виде относительной скорости – числа Фруда по водоизмещению [5-7].

При проектном обосновании промыслового судна из композитов определяются главные размерения  $L$ ,  $B$ ,  $H$ ,  $T$ ,  $\delta$ , а также другие размеры судна типа  $Bгаб$ , соотношения  $L/B$ ,  $B/T$ ,  $H/T$ ,  $Bгаб/B$ , характеристики полной массы  $D$  и таких ее составляющих, как водоизмещение порожнем  $D_{nop}$  и дедвейт  $DW$ , а также значения грузоподъемности  $P_{груз}$ , массы топлива  $P_{топл}$ , массы экипажа  $P_{эк}$  и массы запаса питьевой воды  $P_{вода}$ , коэффициента утилизации по дедвейту  $\eta$ , модуля массы корпуса  $q_{корп}$  и коэффициента пропорциональности для расчета массы энергетической установки  $k_{эу}$ , а также вместимости судна  $W$  по интервалу базовой длины  $L^*$  с использованием результатов анализа баз данных [5]. При этом выполняется сопоставление и осуществляется выбор вариантов по экономическому критерию.

Ряды значений этих функций, построенные на множестве значений независимой переменной  $L^*$  в пределах рассматриваемого интервала, позволяют осуществлять переход от основных размеров и других характеристик одного варианта судна к основным размерам и другим характеристикам другого варианта судна, варьируя только один параметр  $L^*$ , как наиболее универсальный, при этом оставаясь в зоне предпочтительности. При помощи вариаций по базовой длине можно получить семейство характеристик ряда судов из композитов, сбалансированных по соотношениям основных размеров и других характеристик, например, по элементам нагрузки масс. При необходимости производятся вариации по другим геометрическим параметрам судна, предварительно задав интервал изменения и построив на них в качестве независимой переменной аналогичное семейство функций (таблица).

Таблица. Представление параметрического ряда промысловых судов из композитов прибрежного лова с использованием результатов, полученных при обработке баз данных

Table. Parametric representation of a number of fishing vessels from coastal fishing composites, using the results obtained by processing database

Характеристика	$L_1^*$	$L_2^*$	...	$L_n^*$
$L$	$L=a_1 L_1^{*b1}$	$L=a_1 L_2^{*b1}$		$L=a_1 L_n^{*b1}$
$B$	$B=a_2 L_1^{*b2}$	$B=a_1 L_2^{*b1}$		$B=a_2 L_n^{*b2}$
$T$	$T=a_3 L_1^{*b3}$	$T=a_3 L_2^{*b3}$		$T=a_3 L_n^{*b3}$
$H$	$H=a_4 L_1^{*b4}$	$H=a_4 L_2^{*b4}$		$H=a_4 L_n^{*b4}$
$\delta$	$\delta=a_5 L_1^{*b5}$	$\delta=a_5 L_2^{*b5}$		$\delta=a_5 L_n^{*b5}$
$D$	$D=a_6 L_1^{*b6}$	$D=a_6 L_2^{*b6}$		$D=a_6 L_n^{*b6}$
$DW$	$DW=a_7 L_1^{*b7}$	$DW=a_7 L_2^{*b7}$		$DW=a_7 L_n^{*b7}$
$\eta$	$\eta=a_8 L_1^{*b8}$	$\eta=a_8 L_2^{*b8}$		$\eta=a_8 L_n^{*b8}$
$D_{nop}$	$D_{nop}=a_9 L_1^{*b9}$	$D_{nop}=a_9 L_2^{*b9}$		$D_{nop}=a_9 L_n^{*b9}$
$P_i$	$P_i=a_{10} L_1^{*b10}$	$P_i=a_{10} L_2^{*b10}$		$P_i=a_{10} L_n^{*b10}$
$P_j$	$P_j=a_{11} L_1^{*b11}$	$P_j=a_{11} L_2^{*b11}$		$P_j=a_{11} L_n^{*b11}$
$N$	$N=a_{12} L_1^{*b12}$	$N=a_{12} L_2^{*b12}$		$N=a_{12} L_n^{*b12}$
...				
$v$	$v=a_n L_1^{*bn}$	$v=a_n L_2^{*bn}$		$v=a_n L_n^{*bn}$

Определение главных размерений и других геометрических характеристик судна дополняется определением характеристик его ожидаемой скорости и мощности, полученных на базе анализа уравнений «Мощности – Ходкости» (2-4).

$$C_{скор} = \frac{Dv}{N}; \quad (2)$$

$$C_a = \frac{D^{2/3} v^3}{N}; \quad (3)$$

$$C_f = \frac{vD^{2/3}}{N}, \quad (4)$$

где  $C_{скор}$ ,  $C_a$ ,  $C_f$  – коэффициенты.

В качестве одного из способов определения этих коэффициентов использована обработка баз данных существующих катеров и малых судов из композитов, содержащих большое количество характеристик  $D$ ,  $N$ ,  $v$ , с использованием методов регрессионного анализа. Более подробно эти вопросы рассматриваются в работах [6, 7].

Полученное семейство графиков (см. рис. 2) в сочетании с описывающими их уравнениями образует устойчивые взаимосвязи между такими характеристиками скоростных судов из композитов, как полная масса  $D$ , мощность главных двигателей  $N$ , а также их скоростными характеристиками: скоростью  $v$  и числом Фруда по водоизмещению  $Fr_v$ . Форма поверхностей, объединяющих эти графики, характеризуется достаточной гладкостью, что позволяет использовать полученные зависимости для анализа и практических расчетов [6, 7].

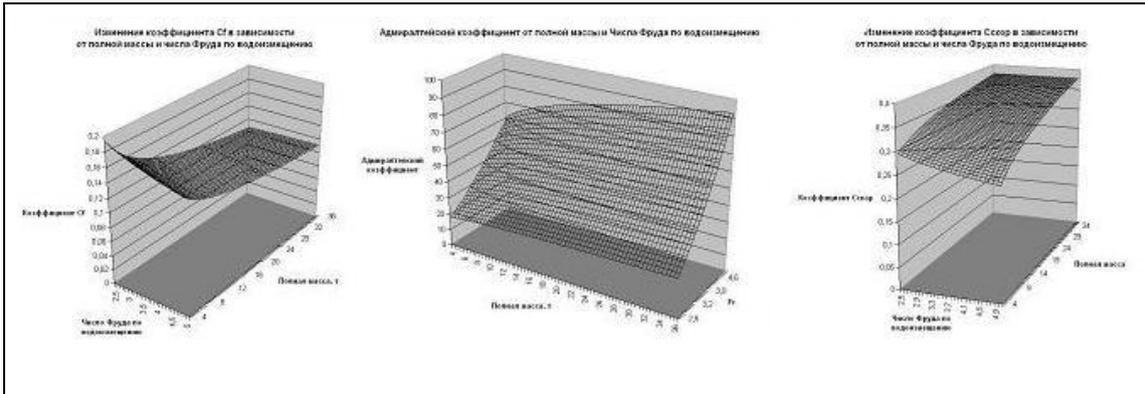


Рис. 2. Изменение коэффициентов  $C_{скор}$ ,  $C_a$ , и  $C_f$  в зависимости от полной массы и скорости для глиссеров

Fig. 2. Changing the ratio  $C_{скор}$ ,  $C_a$ , and  $C_f$  depending on the total mass and speed for gliders

Для реализации задачи параметрического проектирования промышленного судна прибрежного лова из композитов были разработаны два компьютерных приложения. Первое предназначено для определения главных размерений, элементов нагрузки масс и вместимости. Базовая длина при этом задается с любой необходимой точностью в диапазоне от 10 до 20 м. Для определения экономической эффективности полученных проектных характеристик судна их расчеты дополнены расчетом его экономических характеристик в соответствии с выбранным экономическим критерием (в данном случае, величиной условной операционной прибыли от эксплуатации промышленного судна в течение одного дня). При этом использована известная эксплуатационная модель промысла [8].

Второе компьютерное приложение позволяет определить установленную мощность главных двигателей судна, имеющего полную массу, определенную при помощи компьютерного приложения 1, достаточную для обеспечения заданного скоростного режима. Значение полной массы экспортируется из компьютерного приложения 1 вручную с округлением до 0,5 т, а относительная скорость в виде числа Фруда по водоизмещению в интервале  $Fr_v=2,5-5$  задается с точностью 0,1.

Разработчику компьютерных приложений задача была сформулирована в общем виде:

- обеспечение возможности задачи параметра расчетов через интерфейс;
- реализация описанного выше алгоритма расчетов;
- обеспечение функционала сохранения результата с возможностью последующей печати.

Помимо формализованных требований присутствовали не формализованные, но известные ограничения:

- обязательная работа с использованием OS Windows XP SP3 без установленных обновлений и dotNet;
- сохранение минимального размера дистрибутива для обеспечения возможности передачи через электронную почту и другие "узкие" каналы.

Вследствие ограничений, накладываемых при постановке задач, а так же относительной простоты алгоритмов расчетов, в качестве среды разработки был выбран Visual Basic 6.

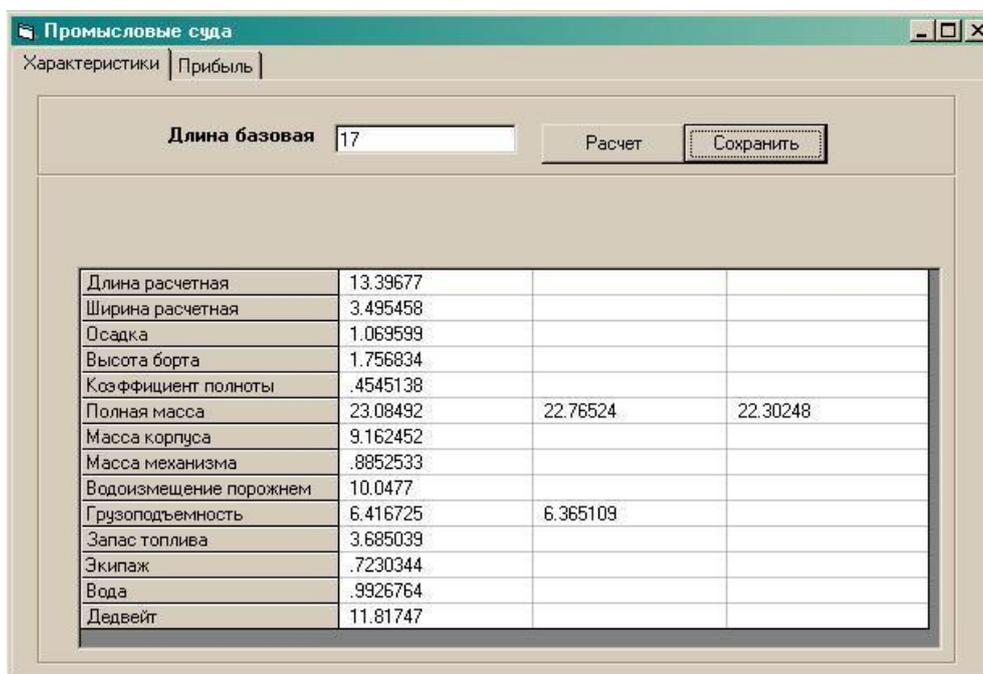


Рис. 3. Вид интерфейса компьютерного приложения 1  
Fig. 3. The type of interface of computers program 1

В качестве первого шага была разработана программа-макет, реализующая один из алгоритмов расчета. Основной задачей при этом было согласование внешнего вида программы и скорости ее работы.

Для представления результатов в программе использована хорошо себя зарекомендовавшая grid форма. В данном случае это был наиболее верный подход, который позволяет хорошо структурировать расчетные данные при выводе на экран, а в дальнейшем дает инструмент для их последующей обработки.

Для сохранения данных выбран формат html, что позволяет гарантировать работу программы без дополнительного ПО на компьютере проектанта (браузер входит в состав OS). Кроме того, это гарантирует одинаковость печатных форм отчетов.

Программа-шаблон прошла процедуры тестирования, и после получения положительной обратной связи была продолжена разработка всего комплекта приложений.

При реализации приложения 2 по расчету мощности определено требование в виде получения данных из MS Excel - файлов. В связи с тем, что необходимо было сохранить возможность изменять данные на стороне проектанта, при разработке данной программы пришлось пожертвовать возможностью работы данного приложения без дополнительного ПО на компьютере проектанта. Для ис-

пользования данного приложения необходима установка на компьютере проектанта комплекта MS Office.

Вид интерфейса компьютерного приложения 1, позволяющего производить расчет главных размерений, характеристик нагрузки масс и вместимости, приведен на рис. 3.

Длина базовая	17		
Длина расчетная	13.39677		
Ширина расчетная	3.495458		
Осадка	1.069599		
Высота борта	1.756834		
Коэффициент полноты	.4545138		
Полная масса	23.08492	22.76524	22.30248
Масса корпуса	9.162452		
Масса механизма	.8852533		
Водоизмещение порожнем	10.0477		
Грузоподъемность	6.416725	6.365109	
Запас топлива	3.685039		
Экипаж	.7230344		
Вода	.9926764		
Дедвейт	11.81747		

Рис. 4. Форма отчета компьютерного приложения 1  
Fig. 4. Report Form computer application 1

В приложении 1 реализована возможность проверки результатов, полученных при помощи обработки баз данных, уравнений плавучести, стандартных соотношений нагрузки масс и другими способами. Данные величин, полученные путем проверки, отражаются в соседних столбцах справа по отношению к проверяемым величинам. Полная масса скоростного глиссирующего судна из композитов проверяется два раза. Отклонение рассчитанных и проверочных величин не превышает 2-5%. Сохраненные данные оформляются в виде отчета и могут быть распечатаны. Форма отчета представлена на рис. 4.

Вид интерфейса компьютерного приложения 2, позволяющего производить расчет установленной мощности, приведен на рис. 5. В приложении реализована возможность проверки результатов, полученных при помощи обработки баз данных, с помощью одновременного расчета мощности по всем трем коэффициентам. Данные величин, полученные путем расчета, отражаются в соседних строках друг над другом. Отклонение значений мощности, определенных с помощью различных коэффициентов не превышает 2-5%. Сохраненные данные оформляются в виде отчета и могут быть распечатаны. Форма отчета представлена на рис. 6.

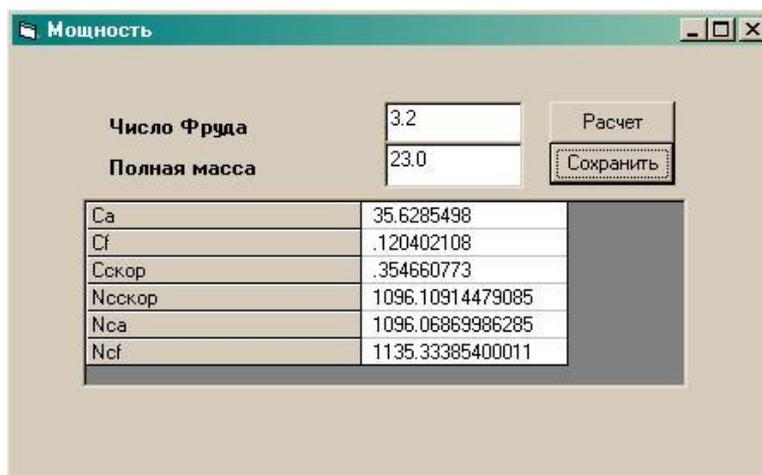


Рис. 5. Вид интерфейса компьютерного приложения 2  
 Fig. 5. The interface of computer applications 2

Использование описанных компьютерных приложений позволяет проектировщику в течение нескольких минут получать главные размерения, характеристики нагрузки масс, вместимости и установленной мощности скоростного глиссирующего судна из композитов или целого семейства судов, сбалансированные между собой и проверенные с помощью точных физических уравнений.

Число Фруда	3.2
Полная масса	23.0
$C_a$	35.6285498
$C_f$	.120402108
$C_c$	.354660773
$N_{C_c}$	1096.10914479085
$N_{C_a}$	1096.06869986285
$N_{C_f}$	1135.33385400011

Рис. 6. Форма отчета компьютерного приложения 2  
 Fig. 6. The report form of computer applications 2

Эти компьютерные приложения дают возможность разработчику реализовать вариативную модель проектирования, опирающуюся на использование параметрических методов и существенно упрощающую оптимизацию проектируемого судна. После определения и уточнения вышеперечисленных главных размерений и других характеристик судна дальнейшее проектирование ведется традиционными способами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Францев, М.Э. Задачи и особенности проектирования рыболовных судов с повышенной скоростью / М.Э. Францев // Морской вестник. – 2009. – № 4(32). – С. 109-111.
2. Францев, М.Э. Проектные особенности зарубежных промысловых судов из композиционных материалов для прибрежного лова / М.Э. Францев // Судостроение. – 2010. – № 5(792). – С. 14-18.
3. Пашин, В.М. Оптимизация судов / В.М. Пашин. – Л.: Судостроение, 1983. – 286 с.
4. Царев, Б.А. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б.А. Царев. – Л.: ЛКИ, 1988. – 102 с.
5. Францев, М.Э. Способ проектного обоснования главных элементов и других характеристик судов из композиционных материалов при помощи анализа баз данных / М.Э. Францев // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2011. – № 3. – С. 37-47.
6. Францев, М.Э. Проектный анализ различных форм уравнения «Мощности – Ходкости» при разработке проекта скоростного судна из композитов / М.Э. Францев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 220-223.
7. Францев, М.Э. Проектное обоснование оптимальных сочетаний характеристик массы, мощности и скорости для скоростных судов из композитов методами анализа баз данных / М.Э. Францев // Наука и техника транспорта. – 2010. – № 3. – С. 53-59.
8. Иванов, В.П. Техничко-экономические основы создания рыболовных судов: учебник / В.П. Иванов. – Калининград: Изд-во БГА РФ, 2010. – 275 с.

## THE NUMERICAL METHODS ARE USED FOR THE REALIZATION OF THE PROBLEM OF PARAMETRIC DESIGN OF THE FISHING VESSEL FROM COMPOSITES FOR COASTAL FISHING

M.E. Frantsev, I.M. Frantsev

The topic of the article refers to marine applications, namely the design of fishing vessels of composites. The use of numerical methods in the realization of the problem of parametric design to determine the basic characteristics of a fishing vessel in the early stages of development can improve the design process. The article presents the results of calculations using the PC scheme parametric design of fishing vessels from composites.

*numerical methods, parametric design, fishing vessels of composites*