

*М. Э. Францев***СПОСОБ ПРОЕКТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
И ДРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ПОМОЩИ АНАЛИЗА БАЗ ДАННЫХ***M. E. Frantsev***METHOD OF PROJECT STUDY OF MAIN ELEMENTS
AND OTHER CHARACTERISTICS OF THE VESSELS
MADE FROM COMPOSITE MATERIALS
BY MEANS OF THE ANALYSIS OF DATABASES**

Рассматриваемый способ основывается на представлении главных размерений судна, их соотношений, а также основных статей нагрузки масс в виде функций одной независимой переменной – базовой длины на заданном интервале. Выбор интервала и определение функций производятся путем анализа баз данных, содержащих более шестисот проектов скоростных судов из композиционных материалов. Семейство функций получено путем аппроксимации значений баз данных. При помощи вариаций по базовой длине можно получить семейство главных размерений и других характеристик ряда судов из композиционных материалов, сбалансированных по соотношениям главных размерений и элементам нагрузки масс. Получены формулы, отражающие рациональные соотношения судов из композитов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости габаритной длиной от 9 до 26 м различного назначения. Проверка сбалансированности полученных значений проводится по проектировочным уравнениям плавучести, нагрузки масс и мощности – ходкости. Выполнен расчет полной массы различных судов, водоизмещения порожнем и дедвейта различными способами для различных баз данных и произведено вычисление погрешностей приращения водоизмещения. При этом погрешность рассчитываемых различными способами величин составляет около 3–5 % и уменьшается с ростом длины судна.

Ключевые слова: главные размерения, нагрузка масс, анализ баз данных, функции, аппроксимация.

The considered method is based on the representation of main dimensions of the vessel, their ratios, as well as basic items of mass load as a function of one independent variable - the basic length on the specified interval. The choice of the interval and definition of the functions are realized by means of the analysis of databases containing more than six hundred projects of high-speed vessels made of composite materials. The family of functions is received by means of approximation of the values of the databases. It is possible to get the family of the main dimensions and other characteristics of the vessels made from composite materials, balanced by the ratios of the main dimensions and elements of the mass load, with the help of variations along the basic length. Formulas, reflecting the rational ratios of the vessels from the composites with dominant subsystems, and providing increased characteristics of speed, and with the overall length from 9 up to 26 m, and for different purposes, are obtained. Balance checking of the obtained values is realized by means of design equations of buoyancy, mass and power loads, propulsion. The calculation of the total mass of different vessels, empty displacement and deadweight tonnage is made by different methods for various databases. The errors in the calculation of the increment of displacement are checked. The values error calculated by different ways is about 3–5 %, and decreases with the length of the vessel increasing.

Key words: main dimensions, mass load, analysis of databases, functions, approximation.

С информационной точки зрения проектирование – это процесс последовательного преобразования входной информации об объекте проектирования в виде его функционального представления в выходную информацию в виде проектно-конструкторской и технологической документации. В процессе составления и преобразования описаний объекта проектирования используются также знания о рассматриваемой области и информация об опыте проектирования объектов аналогичного назначения.

При создании перспективных типов судов, которые не имеют близких прототипов в практике отечественного судостроения, возникает необходимость в связующем звене между внеш-

ней и внутренней задачами проектирования. Такое связующее звено необходимо для обоснования различных аспектов задачи применения судна и координации их решения с задачами макроэкономики и микроэкономики. Использование в процессе проектирования нового для проектанта типа судна приемов исследовательского проектирования на базе различных методов анализа позволяет преодолеть разрыв между имеющимся у разработчика опытом проектирования и технической эксплуатации других судов и экономически и технологически обоснованными требованиями, предъявляемыми к новому проекту [1–4].

По мнению В. В. Ашика, успешное решение основной проектной задачи – определения размеров и формы судна – связано с учетом предшествующего опыта судостроения, заключающегося в использовании данных отдельного судна-прототипа и статистических данных по ряду построенных судов. Правильно обработанная статистическая информация ценна тем, что, во-первых, дает возможность судить о тенденциях изменения характеристик, а во-вторых – позволяет судить о пределах, в которых колеблются используемые в проектировании величины, и сравнить принятые значения (например, по данным прототипа) со средними и предельными, встречающимися в мировой практике [5].

Известно, что В. Л. Поздюнин обратил особое внимание на приложение статистики к проектированию судов, правда, ограничившись определением статистических средних. По данным статистики им был получен ряд зависимостей, которые применяются в проектировании [6, 7].

В свою очередь, Л. М. Ногид указал, что, не ориентируясь на средние величины, можно создавать ряд вариантов проекта судна по одному и тому же заданию (так называемый метод вариаций или метод сравнения вариантов). Этот метод, созданный В. Л. Поздюниным и развитый Л. М. Ногидом, заложил основы исследовательского проектирования и оптимизации проектов, т. е. появилась возможность из вариантов проекта, имеющих целый ряд разных характеристик, выбрать наилучший. Однако сами отклонения от средних статистических не входили в статистические формулы этих авторов, а пределы, в которых изменялись проектные величины, намечались на глаз [5–8].

Только много позже было предложено отражать колебания статистических величин в самих формулах. Так, по мнению В. В. Ашика, для создания проекта, наилучшим образом удовлетворяющего всем заданиям, необходимо принимать во внимание не только средние статистические данные, но и отклонения от них [5].

В методе вариаций исходные уравнения нагрузки масс, ходкости и плавучести в соответствии с [8] имеют следующий вид:

$$D = \sum_{i=1}^n f_i(\delta, L, B, T, H) + f(N) + P, \quad (1)$$

$$N = f(\text{Fr}, \text{Re}, D, \delta, \beta, \frac{L}{B}, \frac{H}{T}), \quad (2)$$

$$D = \gamma \delta L B T, \quad (3)$$

$$\beta = f(\delta), \quad (4)$$

$$\alpha = f(\delta). \quad (5)$$

Уравнение остойчивости имеет вид

$$\frac{B}{T} = f\left(\delta, \frac{h}{B}, \frac{H}{T}\right). \quad (6)$$

При этом конкретизация значений относительной метацентрической высоты, входящей в уравнение остойчивости, может быть произведена при помощи ряда зависимостей, которые ограничивают рассматриваемый параметр в соответствии с требованиями, предъявляемыми к проектируемому судну в отношении предельного угла крена от давления ветра, предельного угла крена на циркуляции, минимального периода свободных поперечных колебаний, показателей аварийной остойчивости и т. п. При этом дополнительная система уравнений имеет вид

$$\left(\frac{h}{B}\right)_i = f_i\left(\delta, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}\dots\right). \quad (7)$$

Значения параметра H/T определяются зависимостями, вытекающими из требований, предъявляемых к высоте надводного борта, непотопляемости и заливаемости судов. Система уравнений непотопляемости при этом имеет вид

$$\left(\frac{H}{T}\right)_i = f_i\left(\delta, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}\dots\right). \quad (8)$$

В соответствии с [8] к числу неизвестных не относятся число Фруда и число Рейнольдса, которые могут быть выражены через заданную скорость хода и длину. При этом неизвестными являются:

$$\delta, \beta, L, B, T, H, D, N.$$

Число неизвестных превышает число уравнений. Неопределенность задачи может быть устранена, если в качестве дополнительных условий, в соответствии с [8], принять зависимости следующего вида:

$$\delta = \delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots \delta_n, \quad (9)$$

$$\frac{L}{B} = \left(\frac{L}{B}\right)_1; \left(\frac{L}{B}\right)_2; \left(\frac{L}{B}\right)_3 \dots \left(\frac{L}{B}\right)_n, \quad (10)$$

$$\frac{B}{T} = \left(\frac{B}{T}\right)_1; \left(\frac{B}{T}\right)_2; \left(\frac{B}{T}\right)_3 \dots \left(\frac{B}{T}\right)_n, \quad (11)$$

$$\frac{H}{T} = \left(\frac{H}{T}\right)_1; \left(\frac{H}{T}\right)_2; \left(\frac{H}{T}\right)_3 \dots \left(\frac{H}{T}\right)_n, \quad (12)$$

$$\frac{h}{B} = \left(\frac{h}{B}\right)_1; \left(\frac{h}{B}\right)_2; \left(\frac{h}{B}\right)_3 \dots \left(\frac{h}{B}\right)_n. \quad (13)$$

Таким образом, для решения исходных уравнений нагрузки масс, ходкости, плавучести и остойчивости важно иметь зависимости, позволяющие судить об изменениях соотношений главных размерений и других характеристик проектируемого судна.

В [5] указывается, что при создании формул теории проектирования судов требуется, как правило, взять за основу какую-либо физическую (в частности, геометрическую) зависимость и путем ее приспособления к решению поставленного вопроса получить приближенную формулу для расчета искомой характеристики. В некоторых случаях выполняется прямая обработка баз данных в возможно простых аналитических формах.

Там же указывается, что вероятностный характер формул теории проектирования судов определяет возможность получения разнообразных решений при определении характеристики судна даже при абсолютно одинаковых требованиях к нему заданий и норм. В связи с этим следует уделять особое внимание обработке баз данных, которая может быть использована при формализации характеристик проектируемых судов. При этом формулы теории проектирования судна, основанные на обработке баз данных и упрощении физических зависимостей, имеют вероятностный характер и являются приближенными, в то же время они указывают на пределы допустимого компромисса при отдельных решениях [5].

Рассмотрим с изложенных позиций задачу проектного анализа главных элементов и других характеристик судов из композиционных материалов. Основными характеристиками размеров и формы судна являются его главные элементы, которые включают его главные размерения (L, B, T, H) и коэффициент полноты водоизмещения δ . Большинство главных элементов, в свою очередь, связаны уравнением плавучести

$$D = \gamma\delta LBT.$$

В основу проектного обоснования положено использование уравнения нагрузки масс в функции главных размерений. В постановке, предложенной И. Г. Бубновым [9]:

$$n_1 dL + n_2 dB + n_3 dT \rightarrow \min, \quad (14)$$

$$d\left(\sum_i P_i + P\right) = dD, \quad (15)$$

$$\frac{\partial(\sum_i P_i)}{\partial L} dL + \frac{\partial(\sum_i P_i)}{\partial B} dB + \frac{\partial(\sum_i P_i)}{\partial T} dT + dP = D\left(\frac{dL}{L} + \frac{dB}{B} + \frac{dT}{T}\right). \quad (16)$$

Представляя полную массу в функции главных размерений, И. Г. Бубнов полагал, что эта функция непрерывна и дифференцируема на рассматриваемом интервале. В соответствии с математическим определением функции, множеств значений $L(L_1, L_2, \dots, L_n)$, $B(B_1, B_2, \dots, B_n)$, $T(T_1, T_2, \dots, T_n)$, $\delta(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$ сопоставлено множество значений $D(D_1, D_2, \dots, D_n)$, при этом каждой группе значений множеств δ, L, B, T сопоставлено одно и только одно значение из множества D . Множества D, δ, L, B, T вещественны, непусты и ненулевые, т. к. они представляют собой размеры и соотношения размеров судна.

Известно, что главные размерения одного и того же судна могут быть сопоставлены не только его полной массе, но и между собой в виде известных соотношений, например:

$$\frac{L}{B}; \frac{B}{T}; \frac{H}{T},$$

откуда любое из главных размерений может быть выражено через другое главное размерение, которому оно сопоставлено. Например:

$$B = L / l_b, \quad (17)$$

где $l_b = L/B$.

Таким образом, для рассматриваемого И. Г. Бубновым ряда судов множеству значений $B(B_1, B_2, \dots, B_n)$ сопоставлено множество значений $L(L_1, L_2, \dots, L_n)$, при этом каждому значению множества B сопоставлено одно и только одно значение из множества L , т. е.

$$B = f(L). \quad (18)$$

В соответствии с подходом И. Г. Бубнова [9], эта функция непрерывна и дифференцируема на рассматриваемом интервале.

И. Г. Бубнов считал, что в большинстве случаев при разработке проекта имеется судно-прототип с достаточно детальной проектной документацией [9]. В настоящее время возможности ознакомления проектировщика с проектной документацией судна-прототипа минимальны. В то же время зависимости, полученные в результате выполненного проектного анализа при обработке баз данных с использованием вычислительной техники, позволяют, в определенной степени, компенсировать это неудобство.

В качестве единой независимой переменной для систематизации главных размерений и других характеристик судна может рассматриваться его базовая длина (длина по несъемным частям). Его величина объективно отражается в технической литературе, а также может быть получена измерением. Логико-физический смысл применения независимой переменной заключается в возможности соотнесения величин главных размерений и других характеристик каждого отдельно взятого проекта судна с его базовой длиной. Обозначим независимую переменную как L^* . Вопрос о базовой длине возникает в связи с тем, что в обзорной информации эта величина используется гораздо чаще, чем расчетная длина.

Множества значений главных размерений и других оптимизируемых характеристик судов, определяемых на заданном интервале, сопоставленных множеству значений одной и той же независимой переменной, определяемой на этом же интервале, пригодны для проектной аппроксимации и для исследования динамики изменения методами регрессионного анализа. Все главные размерения и другие характеристики судов из области допустимых значений сбаланси-

рованы между собой по проектировочным уравнениям и условиям, в первую очередь плавучести, нагрузки масс, мощности – ходкости.

Представление зависимостей главных элементов судов от их базовой длины в виде логических функций позволяет применить математические методы для их определения.

Важно отметить, что представление главных размерений, их соотношений и других характеристик судна в виде логических функций одной или нескольких переменных является широко распространенным приемом, который, например, часто использовали в своих трудах Л. М. Ногид и В. В. Ашик.

Представим главные размерения в виде функций независимой переменной L^* , в заданном интервале, в виде:

$$L = f_1(L^*), \quad (19)$$

$$B = f_2(L^*), \quad (20)$$

$$T = f_3(L^*), \quad (21)$$

$$\delta = f_4(L^*), \quad (22)$$

$$D = f_5(L^*), \quad (23)$$

Представим базу данных характеристик рассматриваемых судов в интересующем нас размерном интервале в виде множеств, элементами которых являются значения их главных размерений и коэффициентов общей полноты. Часто в открытых источниках величины главных элементов построенных судов приводятся не полно, а в ряде случаев – с искажениями. В то же время значения базовой длины этих судов, как правило, приводятся достоверно.

Так как формирование выборки судов-претендентов из всех построенных судов, относящихся к заданному размерному интервалу, имеет случайный характер, становится возможным проведение необходимых расчетов и получение выводов чисто математическими средствами в рамках регрессионной модели.

Случайные величины, полученные методом случайной выборки из открытых источников, неизбежно содержат случайные ошибки. Случайные ошибки определяются большим числом факторов, которые не могут быть устранены или в полной мере учтены при обработке результатов. Они имеют случайный, несистематический характер, дают отклонения от истинного значения в ту и другую стороны.

Таким образом, мы приходим к задаче вычисления приближенных значений функции при любом значении аргумента на основе имеющихся табличных данных. Эта задача решается путем приближенной замены функции $f(x)$ более простой функцией $\varphi(x)$, которую можно вычислять при любом значении аргумента x в заданном интервале его изменения. Введенную функцию можно использовать не только для приближенного определения численных значений $f(x)$, но и для проведения аналитических расчетов при теоретическом исследовании модели. Приближение функции $f(x)$ более простой функцией $\varphi(x)$ называется аппроксимацией. Аппроксимация, при которой приближение строится на заданном дискретном множестве точек $\{x_i\}$, называется точечной.

Для получения точечного среднеквадратичного приближения функции $y = f(x)$, заданной таблично, аппроксимирующую функцию $\varphi(x)$ строят из условия минимума величины

$$S = \sum_{i=0}^n [y_i - \varphi(x_i)]^2, \quad (24)$$

где y_i – значения функции $f(x)$ в точках x_i .

Аппроксимация данных с учетом их частотных параметров относится к задачам регрессии. Задачей регрессионного анализа является подбор формул, наилучшим образом описывающих полученные данные. Для выбора семейства аппроксимирующих функций, описывающих требуемые зависимости, можно руководствоваться теоремой Вейерштрасса об аппроксимации,

в которой говорится, что непрерывная функция в конечном замкнутом интервале равномерно аппроксимируется полиномами [10–13].

В случае заведомо дискретного характера переменных, что часто встречается в проектном анализе относительно крупных судов, тот же подход применяется к отдельным интервалам исследуемой функции, где она является кусочно-непрерывной.

В случае если количество сопоставленных пар значений расчетной и габаритной длин судна будет достаточно большим, по закону больших чисел аппроксимирующая функция $L = \varphi(L^*)$, построенная на заданном множестве значений L^* , будет достаточно близко приближаться к теоретической функции $L = f(L^*)$.

Возникает вопрос об определении интервала исследуемых функций. И. Г. Бубновым [9] при постановке задачи нахождения приращений размерений судна-прототипа по критерию оптимизации было выдвинуто условие в виде

$$\frac{dL}{L}, \frac{dB}{B}, \frac{dT}{T} \leq 0,10 \div 0,15. \quad (25)$$

Более жесткий диапазон возможных приращений главных размерений определен при выводе точной формулы относительного приращения полной массы В. В. Ашика. Приращение полной массы может быть представлено в виде

$$D_1 = D_0 + \Delta D = D_0 + D_0 \left(\frac{\Delta \delta}{\delta} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta T}{T} \right), \quad (26)$$

а так как формула относительного приращения полной массы имеет вид

$$\Delta = \frac{\Delta D}{D} = \left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta} \right) \left(1 + \frac{\Delta L}{L} \right) \left(1 + \frac{\Delta B}{B} \right) \left(1 + \frac{\Delta T}{T} \right) - 1, \quad (27)$$

то В. В. Ашиком рекомендуются следующие ограничения приращений главных размерений и полной массы, позволяющие корректно применять формулы, представляющие собой уравнения масс в функции главных размерений и коэффициента общей полноты в дифференциальной форме [5]:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta T}{T} \leq 0,10, \quad (28)$$

$$\frac{\Delta D}{D} \leq 0,20. \quad (29)$$

Таким образом, для идентификации зависимостей главных элементов судов из композиционных материалов от их базовой длины необходимо сформировать и сопоставить дискретные множества значений этих характеристик и аппроксимировать их полиномами по степенному закону в заданном интервале значений каждой из величин. Используя аппроксимирующие функции, можно получить достаточно достоверные зависимости, позволяющие определять главные элементы судна и другие его характеристики, такие, например, как дедвейт или водоизмещение порожнем, в первом приближении достаточно эффективно.

В. В. Ашиком для аппроксимирующих функций, полученных при обработке баз данных, введен термин «проектировочная формула» [5]. Этим термином, в сокращении «формула», будем пользоваться в дальнейшем.

В. В. Ашик указывает, что для устранения неточностей полученной логико-математической модели она должна быть подвергнута проверке по точным формулам теории проектирования судов и других кораблестроительных дисциплин [5].

Таким образом, полная масса судна может быть представлена в виде произведения значений «функций», вытекающих из формул $f_1(L^*)$, $f_2(L^*)$, $f_3(L^*)$, $f_4(L^*)$, соответствующих одному и тому же значению L^* , принадлежащему рассматриваемому интервалу. При этом полная масса, в свою очередь, также может быть представлена в виде функции $f_5(L^*)$ независимой переменной L^* , принадлежащей рассматриваемому интервалу:

$$D = f_5(L^*). \quad (30)$$

Поэтому значение формулы $f_5(L^*)$, соответствующее значению L^* , равно произведению значений функций $f_1(L^*) f_2(L^*) f_3(L^*) f_4(L^*)$, соответствующих этому же значению L^* , принадлежащей рассматриваемому интервалу:

$$D = f_5(L^*) = \gamma \delta L B T = \gamma f_1(L^*) f_2(L^*) f_3(L^*) f_4(L^*). \quad (31)$$

Значению базовой длины L^* , увеличенной на приращение ΔL^* , принадлежащему рассматриваемому интервалу, соответствует новое значение величины полной массы, представляющее собой первоначальное значение D , увеличенное на величину приращения ΔD :

$$D + \Delta D = f_5(L^* + \Delta L^*). \quad (32)$$

При этом увеличенная полная масса, в свою очередь, может быть выражена через произведение новых значений этих формул, соответствующих значению увеличенной габаритной длины $L^* + \Delta L^*$, принадлежащему рассматриваемому интервалу, и представляющих собой первоначальные значения функций $f_1(L^*) f_2(L^*) f_3(L^*) f_4(L^*)$, увеличенные на приращения $\Delta f_1(L^*)$, $\Delta f_2(L^*)$, $\Delta f_3(L^*)$, $\Delta f_4(L^*)$:

$$\begin{aligned} D + \Delta D &= f_5(L^* + \Delta L^*) = \gamma(\delta + \Delta\delta)(L + \Delta L)(B + \Delta B)(T + \Delta T) = \\ &= \gamma f_1(L^* + \Delta L^*) f_2(L^* + \Delta L^*) f_3(L^* + \Delta L^*) f_4(L^* + \Delta L^*). \end{aligned} \quad (33)$$

Таким образом, значение полной массы проектируемого судна, увеличенное на величину приращения полной массы, по отношению к полной массе судна-прототипа, может быть определено как произведение величин главных размерений, в виде новых значений функций, соответствующих новому значению независимой переменной в виде базовой длины судна-прототипа, измененному на величину приращения на заданном интервале.

Известно, что И. Г. Бубнов [9], в целях увеличения точности расчета масс, предложил пересчитывать нагрузку судна-прототипа применительно к проектируемому судну поштатейно, рассматривая отдельные разделы и группы нагрузки, для которых может быть найдена более или менее надежная зависимость. Им предложен метод расчета нагрузки масс судна, когда вся нагрузка масс судна разбивается на группы, для которых могут быть определены модули, что позволяет пересчитать нагрузку по различным разделам с одного судна на другое. Использование метода пересчета масс с одного судна на другое по отдельным статьям нагрузки с использованием модулей дает возможность представить отдельные статьи нагрузки масс также в виде функций независимой переменной – геометрического параметра – базовой длины судна L^* .

$$P_i = f_i(L^*), \quad (34)$$

$$P_j = f_j(L^*). \quad (35)$$

При этом в виде P_i обозначаются статьи нагрузки, входящие в водоизмещение порожнем судна, а в виде P_j – статьи нагрузки, входящие в дедвейт судна. В свою очередь, водоизмещение порожнем $D_{пор}$ и дедвейт судна DW также могут быть представлены в виде формул $f_7(L^*)$ и $f_8(L^*)$ независимой переменной L^* в пределах рассматриваемого интервала.

При выводе уравнения масс в функции главных размерений и коэффициента общей полноты в дифференциальной форме И. Г. Бубнов использовал «исправленный прототип», у которого нагрузка по статьям, не зависящим от главных размерений, была исправлена на величину увеличения нагрузки от изменения параметров [9]. Использование идеи И. Г. Бубнова об «исправленном прототипе» позволяет корректировать нагрузку масс проектируемого судна в первом приближении по отношению к судну-прототипу на величину статей нагрузки, не зависящих от геометрических параметров или имеющих малую величину в пределах точности выполняемого расчета. Аналогичные подходы применялись и Л. М. Ногидом [8].

Таким образом, в результате проектного обоснования получено семейство функций одной независимой переменной L^* , значения которых, соответствующие одному и тому же значению независимой переменной L^* , связаны между собой следующими соотношениями:

$$D = \gamma\delta LBT = \sum_i P_i + \sum_j P_j = \sum_i f_i(L^*) + \sum_j f_j(L^*), \quad (36)$$

$$D_{\text{пор}} = f_7(L^*) = \gamma\delta LBT - DW = \gamma f_1(L^*) f_2(L^*) f_3(L^*) f_4(L^*) - f_6(L^*), \quad (37)$$

$$DW = f_6(L^*) = \sum_j f_j(L^*), \quad (38)$$

$$D_{\text{пор}} = f_7(L^*) = \sum_i P_i = \sum_i f_i(L^*). \quad (39)$$

Семейство этих функций может расширяться по мере необходимости.

Ряды значений этих функций, построенные на множестве значений независимой переменной L^* в пределах рассматриваемого интервала, позволяют осуществлять переход от главных размерений и других характеристик судна-прототипа к главным размерениям и другим характеристикам проектируемого судна, варьируя только один параметр L^* , как наиболее универсальный, оставаясь при этом в зоне предпочтительности. При помощи вариаций по базовой длине можно получить семейство главных размерений и других характеристик ряда судов из композиционных материалов, сбалансированных по соотношениям главных размерений и элементам нагрузки масс. При необходимости можно производить вариации по другим геометрическим параметрам судна, предварительно задав интервал изменения и построив на них в качестве независимой переменной аналогичное семейство функций.

Проанализировано две базы данных: разъездных и промысловых судов из композитов. База данных разъездных судов включает:

- 274 проекта разъездных судов стран Европы, Америки и Азии из открытых источников;
- 363 проекта разъездных судов стран Европы, Америки и Азии из базы данных Российского речного регистра.

Разъездные суда из композиционных материалов, являющиеся объектом анализа, имеют полную массу от 2 до 160 т, длину от 9 до 42 м, установленную мощность главных двигателей от 200 до 8 000 кВт, скорость полного хода от 10 м/с (19 уз) до 21 м/с (40 уз) [14].

База данных промысловых судов включает проекты промысловых судов: 74 проекта японской постройки, 35 проектов австралийской постройки, 13 проектов североευропейской постройки длиной от 8 до 24 м. Базы данных представлены в виде табл. 1.

Таблица 1

Форма базы данных в виде таблицы

Характеристика	$L_1^* - L_2^*$	$L_2^* - L_3^*$	$L_3^* - L_4^*$	$L_4^* - L_5^*$
L				
B				
T				
H				
δ				
D				
DW				
η				
$D_{\text{пор}}$				
P_i				
P_j				
N				
v				

Получены формулы, отражающие рациональные соотношения судов из композитов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости габаритной длиной от 9 до 26 м, и формулы, отражающие рациональные соотношения промысловых судов из композитов с повышенными характеристиками ходкости габаритной длиной от 8 до 24 м. Проверка сбалансированности полученных значений проводится по проектировочным уравнениям плавучести, нагрузки масс и мощности – ходкости.

Выполнен расчет таких характеристик судна, как полная масса D , водоизмещение порожнем $D_{пор}$ и дедвейт DW различными способами для различных баз данных и произведено вычисление погрешностей ΔD . При этом значение погрешности величин, рассчитываемых различными способами, составляет 3–5 % и уменьшается с ростом длины судна. На основании выполненных расчетов можно сделать вывод, что способ проектного обоснования рационального проектирования главных элементов и их соотношений судов из композиционных материалов на основании анализа главных размерений и других характеристик баз данных судов из композитов работоспособен.

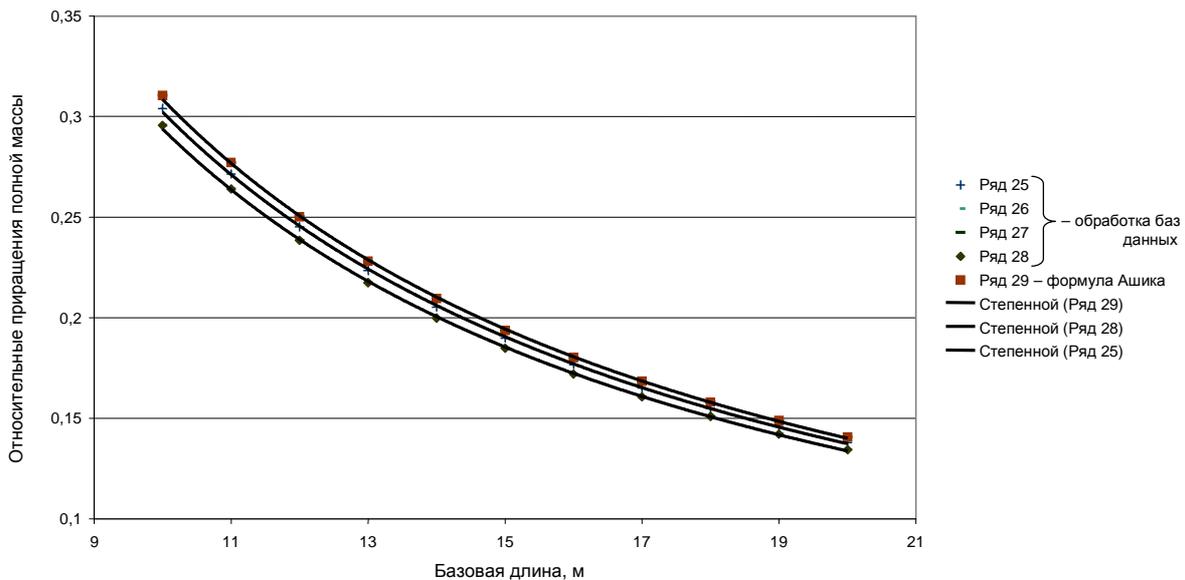
Область допустимых значений главных размерений и других характеристик судов из композитов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости габаритной длиной от 9 до 26 м, и промысловых судов из композитов с повышенными характеристиками ходкости габаритной длиной от 8 до 24 м, сбалансированных по проектировочным уравнениям плавучести и нагрузки масс, представлена в виде табл. 2.

Таблица 2

Представление области допустимых значений в виде таблицы

Характеристика	L_1^*	L_2^*	L_3^*	...	L_n^*
L	$L = a_1 L_1^{b1}$	$L = a_1 L_2^{b1}$	$L = a_1 L_3^{b1}$		$L = a_1 L_n^{b1}$
B	$L = a_2 L_1^{b2}$	$L = a_1 L_2^{b1}$	$L = a_1 L_3^{b1}$		$L = a_2 L_n^{b2}$
T	$L = a_3 L_1^{b3}$	$L = a_3 L_2^{b3}$	$L = a_3 L_3^{b3}$		$L = a_3 L_n^{b3}$
H	$L = a_4 L_1^{b4}$	$L = a_4 L_2^{b4}$	$L = a_4 L_3^{b4}$		$L = a_4 L_n^{b4}$
δ	$L = a_5 L_1^{b5}$	$L = a_5 L_2^{b5}$	$L = a_5 L_3^{b5}$		$L = a_5 L_n^{b5}$
D	$L = a_6 L_1^{b6}$	$L = a_6 L_2^{b6}$	$L = a_6 L_3^{b6}$		$L = a_6 L_n^{b6}$
DW	$L = a_7 L_1^{b7}$	$L = a_7 L_2^{b7}$	$L = a_7 L_3^{b7}$		$L = a_7 L_n^{b7}$
η	$L = a_8 L_1^{b8}$	$L = a_8 L_2^{b8}$	$L = a_8 L_3^{b8}$		$L = a_8 L_n^{b8}$
$D_{пор}$	$L = a_9 L_1^{b9}$	$L = a_9 L_2^{b9}$	$L = a_9 L_3^{b9}$		$L = a_9 L_n^{b9}$
P_i	$L = a_{10} L_1^{b10}$	$L = a_{10} L_2^{b10}$	$L = a_{10} L_3^{b10}$		$L = a_{10} L_n^{b10}$
P_j	$L = a_{11} L_1^{b11}$	$L = a_{11} L_2^{b11}$	$L = a_{11} L_3^{b11}$		$L = a_{11} L_n^{b11}$
N	$L = a_{12} L_1^{b12}$	$L = a_{12} L_2^{b12}$	$L = a_{12} L_3^{b12}$		$L = a_{12} L_n^{b12}$
...					
v	$L = a_n L_1^{bn}$	$L = a_n L_2^{bn}$	$L = a_n L_3^{bn}$		$L = a_n L_n^{bn}$

Для подтверждения работоспособности определения области допустимых значений главных размерений судов из композиционных материалов выполнен расчет относительных приращений полной массы судов из композиционных материалов путем обработки баз данных и по формуле Ашика (27). Результаты расчета представлены на рисунке.



Результаты расчета относительных приращений полной массы путем обработки баз данных и по формуле Ашика

На рисунке можно видеть достаточно близкое совпадение расчетных значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пашин В. М.* Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 296 с.
2. *Царев Б. А.* Модульные задачи в проектировании судов. – Л.: Изд-во ЛКИ, 1978. – 96 с.
3. *Царев Б. А.* Оптимизационное проектирование скоростных судов. – Л.: Изд-во ЛКИ, 1988. – 102 с.
4. *Ваганов А. М.* Проектирование скоростных судов. – Л.: Судостроение, 1978. – 279 с.
5. *Ашик В. В.* Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1985. – 486 с.
6. *Поздюнин В. Л.* Теория проектирования судов. – Л.: Изд-во ЛКИ, 1938. – Ч. 1. – 1939. – Ч. 2.
7. *Поздюнин В. Л.* Теория проектирования судов. – Ч. 3. Общие вопросы проектирования. – Л.-М., ОНТИ, НКТП, 1935. – 108 с.
8. *Ногид Л. М.* Теория проектирования судов. – Л.: Судостроение, 1955. – 479 с.
9. *Бубнов И. Г.* Об одном методе определения главных размеров проектируемого судна // Ежегодник Союза морских инженеров. – 1916. – Т. 1. – С. 243–256.
10. *Боровков А. А.* Математическая статистика. – М.: Физматлит, 2007. – 704 с.
11. *Коробов Н. М.* Теоретико-численные методы в приближенном анализе. – М.: Физматгиз, 1984. – 222 с.
12. *Кудрявцев Л. Д.* Курс математического анализа. – Т. 1. – М.: Высш. шк., 1981. – 688 с.
13. *Лоран П.-Ж.* Аппроксимация и оптимизация. – М.: Мир, 1975. – 498 с.
14. *Современные катера и яхты 2004/2005.* – М.: Премьера, 2004. – 478 с.

Статья поступила в редакцию 1.10.2011

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Францев Михаил Эрнстович – акционерное общество «Нептун-Судомонтаж», Московская область, г. Долгопрудный, п. Водники; канд. техн. наук; директор; gepard629@yandex.ru.

Frantsev Mikhail Ernstovich – Joint-Stock Company "Neptune-Shipbuilding", Moscow Region, Dolgoprudny City, Vodniki Village; Candidate of Technical Science; Director; gepard629@yandex.ru.