

Список литературы

1. Сикарев А. А. Оптимальный прием дискретных сообщений / А. А. Сикарев, А. И. Фалько. — М.: Связь, 1978.
2. Петухов Ю. В. Электромагнитная защищенность базовых станций речных автоматизированных информационных систем в условиях взаимных помех / Ю. В. Петухов, И. А. Сикарев // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — № 2.
3. Сикарев И. А. Анализ электромагнитной защищенности АИС на ВВП при воздействии сосредоточенных помех / И. А. Сикарев // ТССиС на морских и ВВП: сб. науч. тр. — СПб.: СПГУВК, 2005. — Вып. 6.
4. Сикарев И. А. Помехоустойчивость и функциональная устойчивость автоматизированных идентификационных систем мониторинга и управления на речном транспорте / И. А. Сикарев. — СПб.: СПГУВК, 2010.

УДК 629.12.001

М. Э. Францев,
канд. техн. наук,
АО «Нептун-Судомонтаж»

ПРОЕКТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК ВМЕСТИМОСТИ И ОБИТАЕМОСТИ СУДОВ
ИЗ КОМПОЗИТОВ

DESIGN DROUNDS OF THE RATIONAL PROVISION OF CAPACITY AND
HABITABILITY CHARACTERISTICS OF VESSELS MADE OF COMPOSITES

В статье излагаются принципы рационального обоснования характеристик вместимости и обитаемости, применяемые при проектировании современных судов из композиционных материалов. Рассмотрены основные составляющие вместимости. Приведены примеры параметрических способов определения величин для отдельных статей вместимости. Предложены способы определения удельной кубатуры пассажирских помещений и определения максимальной вместимости грузовых трюмов для промысловых судов суточного лова. Описан функциональный состав эксплуатационного качества — обитаемости.

The article outlines the principles of rational justification of capacity and habitability characteristics used in the design of modern ships made of composites. The main components of capacity are considered. There are the examples of methods for determining the parametric values for the items of capacity. In this article the method of determining the specific cubic capacity of passenger space and the method of determining the maximum capacity of the cargo holds of fishing vessels for the daily catch are also proposed. The functional structure of the operational quality — habitability is described.

Ключевые слова: проектирование, рациональное обоснование, вместимость, обитаемость, судно из композиционных материалов.

Key word: design, rational justification, capacity, habitability, vessel made of composites.



ОРМА малого судна образует неразрывное композиционное единство с организацией его внутреннего пространства. В большинстве случаев суда из композитов имеют многоуровневую ступенчатую компоновку, при которой помещения располагаются в корпусе

и надстройке. Машинное отделение или моторный отсек располагается на современных судах из композитов в кормовой части корпуса.

Современные принципы создания интерьеров судовых помещений предусматривают поливариантность использования внутренних объемов судна. В ряде случаев предусматривается создание на базе одного корпуса нескольких вариантов компоновок судовых помещений. Например, на базе одного корпуса могут быть созданы компоновка судна с открытой палубой и рубкой-убежищем, предназначенная для рыболовства, компоновка судна с открытой палубой и надстройкой для осуществления патрульных функций, а также компоновка судна с надстройкой, когда его палуба одновременно является крышей пассажирских помещений, расположенных в корпусе. В идеале, форма внешнего объема судна обосновывается его внутренней планировкой [4; 6, с. 91–94].

При проектировании подсистемы, объединяющей архитектурно-компоновочную схему судна, его вместимость и нагрузку масс рассматриваются следующие вопросы:

- определяются главные элементы и другие характеристики судна в виде фиксированных значений;
- разрабатываются архитектура и компоновка корпуса и верхних строений судна;
- определяется вместимость судна и проектируется общее расположение его объемов;
- разрабатывается нагрузка масс и определяется расположение масс в первом приближении;
- производится контроль положения центра масс по высоте с точки зрения обеспечения устойчивости и плавности качки;
- производится контроль положения центра масс по длине с точки зрения устойчивости движения судна;
- проектируется расположение основных помещений с точки зрения обитаемости, конструктивной противопожарной защиты и экологии;
- производится сравнение полученных результатов с проектными ограничениями и граничными условиями.

Проектное обоснование эксплуатационных качеств судна включает оценку его устойчивости, непотопляемости и мореходных качеств. При этом рассматриваются такие вопросы, как:

- расположение надводных объемов корпуса судна и его верхних строений, надводного борта и палубных колодцев с точки зрения устойчивости;
- проверка соответствия выбранным критериям устойчивости взаимного расположения объемов и масс по высоте, а также абсциссы и аппликаты центра масс и центра величины;
- оценка надводного борта, разделения на отсеки, расположения переборок и блоков плавучести с точки зрения непотопляемости;
- оценка метацентрической высоты с точки зрения плавности качки и резонансных курсовых углов;
- производится сравнение полученных результатов с проектными ограничениями и граничными условиями.

Оценка эксплуатационных качеств судна из композитов, связанных с его функциональным назначением, производится на этом уровне методом экспертных оценок.

Нижний уровень внутреннего проектирования судна из композиционных материалов включает проектирование подсистем судна, выделенных в результате декомпозиции по конструктивному признаку, в первую очередь подсистемы «Корпус из композиционных материалов» [1; 2; 6; 7–9].

В аналитическом виде проектное обоснование рационального обеспечения характеристик вместимости и обитаемости судов из композитов может быть представлено следующим образом.

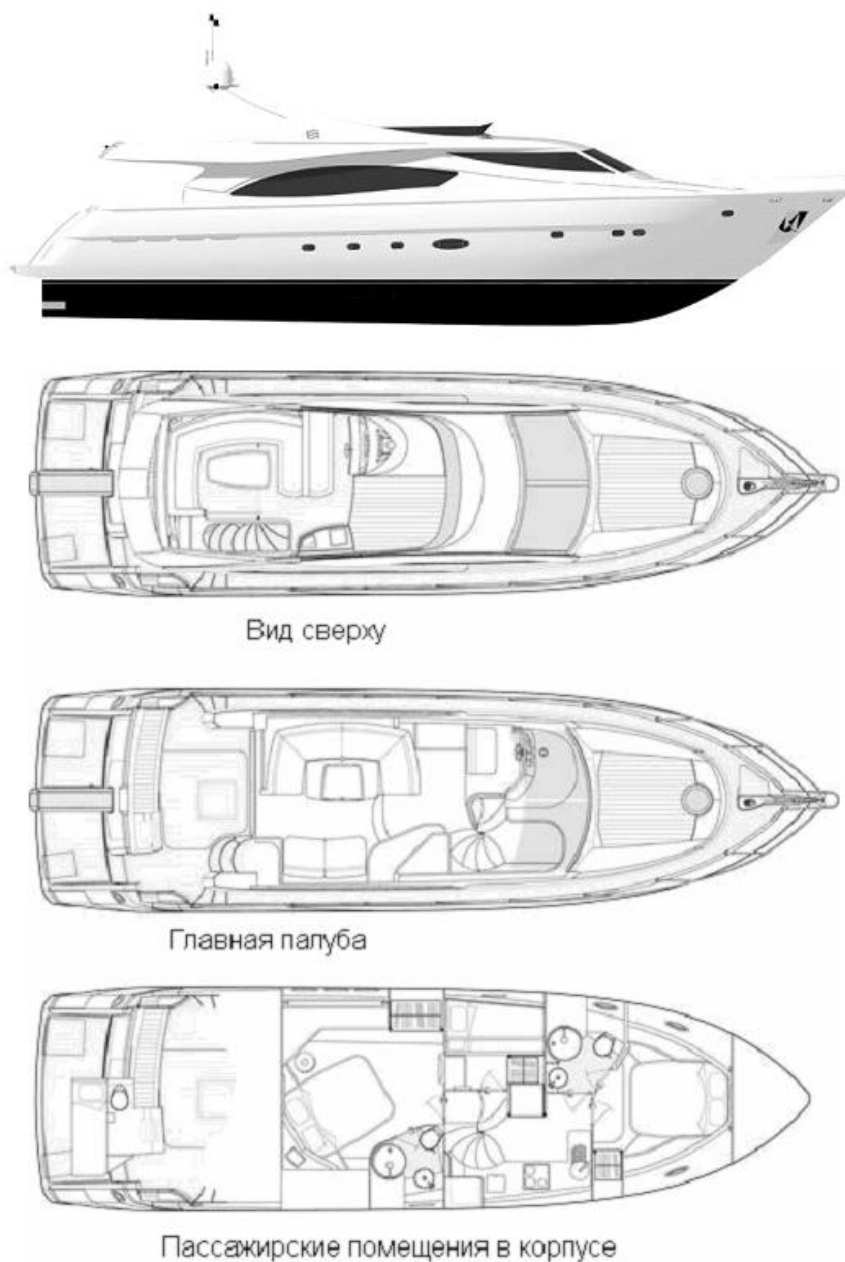


Рис. 1. Трехуровневая компоновка современного судна из композитов.
Общий вид со снятой крышей надстройки и планы палуб

Уравнение объемов для обеспечения проектируемому судну из композиционных материалов необходимой вместимости рассматривается в трактовке В. Л. Поздюнина в виде

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad (1)$$

где $\sum W_i$ — сумма требуемых теоретических объемов всех помещений судна [3].

Примерный перечень объемов помещений судов из композиционных материалов включает каюты, общественные и санитарно-бытовые помещения, а также посты управления, машинное отделение или моторный отсек, отсеки топливных баков, блоки плавучести, объемы термозвукоизоляции (см. рис. 1). В развернутом виде уравнение объемов имеет вид

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = n_{\text{пас}}(w_k + w_o + w_c) + W_{\text{мо}} + W_{\text{пу}} + W_{\text{топл}} + W_{\text{БП}} + W_{\text{из}} + W_{\text{вода}} + W_{\text{рез}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{пас}}$ — число пассажиров и членов экипажа на борту;
 w_k — удельный объем кают;
 w_o — удельный объем общественных помещений;
 w_c — удельный объем санитарно-бытовых помещений;
 $W_{\text{мо}}$ — объем машинного отделения или моторного отсека;
 $W_{\text{пу}}$ — объем постов управления;
 $W_{\text{топл}}$ — объем топливных баков;
 $W_{\text{БП}}$ — объем блоков плавучести;
 $W_{\text{из}}$ — объем термозвукоизоляции;
 $W_{\text{вода}}$ — объем водяных баков;
 $W_{\text{рез}}$ — резервный объем.

Резервный объем $W_{\text{рез}}$ определяется как параметр, величина которого зависит от наличия близкого прототипа, опыта разработчика в проектировании судов подобного типа, тщательности разработки технического задания и других подобных факторов. При тщательном анализе достаточно большого количества близких прототипов величиной резервного объема можно пренебречь, заменив его рядом максимальных значений коэффициентов пропорциональности при отдельных слагаемых в уравнении объемов.

Специфика малых судов из композиционных материалов заключается в том, что, как правило, нет возможности в полной мере выполнить требования нормативных документов (Санитарных правил и др.) по обеспечению необходимых площадей и объемов помещений, ввиду малости самого судна. В то же время на судах подобных типов и назначения широко применяются конструктивные решения, позволяющие трансформировать назначение отдельных помещений в зависимости от времени суток или цели использования. Так, салон может служить спальней с дополнительными спальными местами, пост управления может быть совмещен с салоном или каюткомпанией, а мостик — с прогулочной палубой. Анализ архитектурно-компоновочных решений близких прототипов дает возможность получения величины удельного объема кают, общественных и санитарно-бытовых помещений в расчете на одного человека, находящегося на борту. Аналогично может быть определен объем машинного отделения и поста управления. Это позволяет уменьшить количество слагаемых в уравнении объемов. Кроме того, ряд слагаемых может быть определен в виде приближенных зависимостей, полученных на основе обработки баз данных. С учетом изложенных соображений уравнение объемов приобретает вид

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = n_{\text{пас}} w_{\text{пас}} + W_{\text{мо}} + W_{\text{топл}} + W_{\text{БП}} + W_{\text{вода}}. \quad (3)$$

Для промыслового судна из композиционных материалов однодневного лова этот перечень дополнится объемом грузового трюма, но при этом объем помещений для экипажа будет сильно уменьшен. С учетом изложенных соображений уравнение объемов для промыслового судна будет иметь вид

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = n_{\text{эк}} w_{\text{эк}} + W_{\text{мо}} + W_{\text{топл}} + W_{\text{БП}} + W_{\text{вода}} + W_{\text{груз}}. \quad (4)$$

Основа, определяющая конструктивные особенности судна из композиционных материалов, должна выполнять поставленные задачи. Это позволяет определить количество и мощность главных двигателей, дальность плавания, район плавания, мореходные качества, срок автономности по запасам топлива и питьевой воды и т. п. Исходя из этих соображений и определяются объемы

машинного отделения, объемы для размещения топливных цистерн, объемы для размещения водяных цистерн, объем блоков плавучести и т. д.

Объем машинного отделения или моторного отсека может быть определен как

$$W_{\text{мо}} = k_{\text{гд}} V_{\text{гд}} n_{\text{гд}} + k_{\text{об}} V_{\text{об}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{гд}}$ — коэффициент, учитывающий потребные дополнительные объемы на зоны обслуживания главных двигателей;

$V_{\text{гд}}$ — объем главного двигателя наибольшей мощности, планируемого к установке;

$n_{\text{гд}}$ — максимально возможное количество главных двигателей;

$k_{\text{об}}$ — коэффициент, учитывающий потребные дополнительные объемы на зоны обслуживания дополнительного оборудования МО;

$V_{\text{об}}$ — объем дополнительного оборудования МО.

Анализ баз данных двигателей различной мощности и типовых компоновок моторных отсеков или машинных отделений позволяет получить достаточно работоспособные зависимости типа

$$W_{\text{мо}} = k_{\text{мо}} N, \quad (6)$$

где N — мощность главных двигателей.

Объем постов управления $W_{\text{пу}}$ может быть определен по данным статистики с учетом современных требований эргономики и антропометрических данных. На большинстве современных судов из композиционных материалов посты управления komponуются по принципам, заимствованным в автомобилестроении и, как правило, совмещаются с общественными помещениями. Поэтому необходимости в отдельном учете их объемов нет.

Изменение массы топлива по интервалу базовой длины

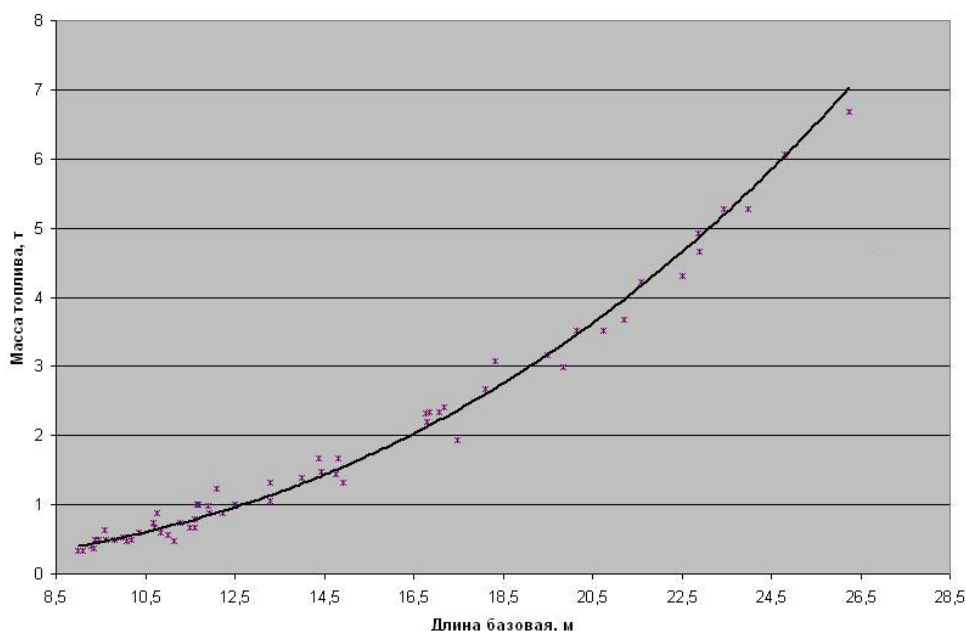


Рис. 2. Формула массы топлива по интервалу базовой длины

У современных судов из композиционных материалов топливные и водяные баки являются вкладными, поэтому вместимость объемов для их размещения определяется по формуле

$$W_{\text{топл}} = (k_{\text{тб}} N T q) / \rho_{\text{топл}} = k_{\text{тб}} P_{\text{топл}} / \rho_{\text{топл}}, \quad (7)$$

где $k_{то}$ — коэффициент, учитывающий увеличение объема топливного бака на конструкции его крепления (ложементы и др.), мертвую кладку, незаполняемый объем;

N — мощность главных двигателей;

q — удельный расход топлива на один двигатель;

T — срок автономности по запасам топлива;

$P_{топл}$ — запас топлива;

$\rho_{топл}$ — плотность топлива при максимально допустимой температуре [7; 9].

$$W_{вода} = k_{вб} n_{пас} \nu T_{в} = k_{вб} P_{вода}, \quad (8)$$

где $k_{вб}$ — коэффициент, учитывающий увеличение объема водяного бака на конструкции его крепления (ложементы и др.), мертвую кладку, незаполняемый объем;

ν — нормируемый расход воды;

$T_{в}$ — срок автономности по запасам питьевой воды;

$P_{вода}$ — запас питьевой воды.

Изменение массы воды по интервалу базовой длины

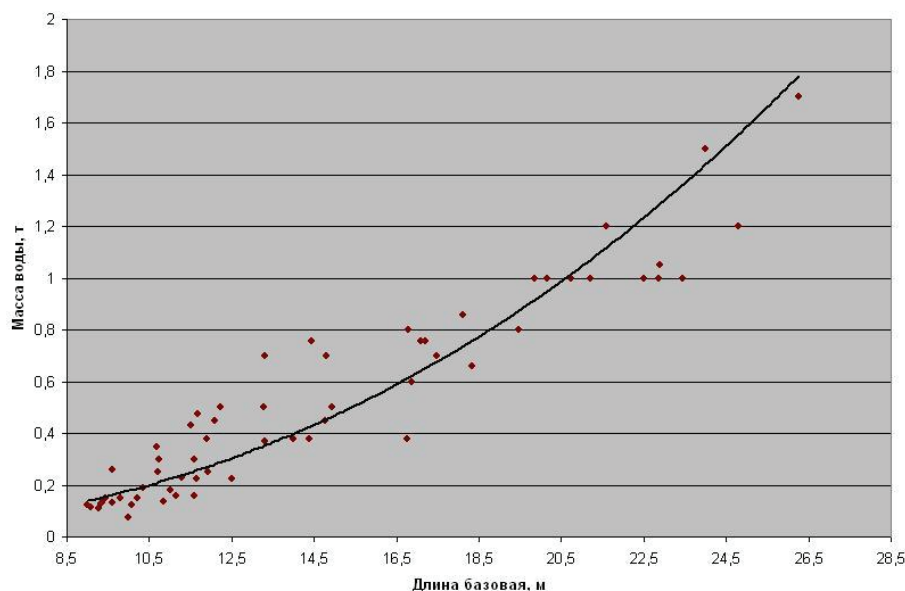


Рис. 3. Формула массы воды по интервалу базовой длины

Величина запаса топлива и воды может быть принята на начальном этапе по результатам анализа соответствующих баз данных (см. рис. 2 и 3). Например, запас топлива и запас питьевой воды для судов из композиционных материалов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости, могут быть определены по формулам [5, с. 37–46]:

$$P_{топл} = 0,0011 L^{*2,6795}; \quad (9)$$

$$P_{вода} = 0,0007 L^{*2,3825}. \quad (10)$$

Объем блоков плавучести определяется в том случае, если в соответствии с принятой компоновкой не может быть выполнено требование об обеспечении непотопляемости при затоплении одного или нескольких отсеков. В этом случае по требованиям нормативных документов должна быть обеспечена непотопляемость при заполнении водой всего корпуса с сохранением аварийной устойчивости и нахождением на борту экипажа и пассажиров. В этом случае формула будет иметь следующий вид:

$$W_{\text{БП}} = k_{\text{БП}} D / \gamma, \quad (11)$$

где $k_{\text{БП}}$ — коэффициент, учитывающий уменьшение внутреннего объема судна при затоплении;
 D — полное водоизмещение судна;
 γ — удельный вес воды;
 Объем термовздуоизоляции помещений судна может быть определен как:

$$W_{\text{из}} = \sum_{i=1}^n S_i t_i, \quad (12)$$

где S_i — площадь изолируемых поверхностей;
 t_i — толщина пакета изоляции на площади [6; 7].

При определении толщины пакета изоляции учитывается характер фактора, от которого производится защита (звук, вибрация, высокая или низкая температура), а также предполагаемый тип изоляционного материала. На современных судах из композиционных материалов термовздуоизоляция выполняется из материалов, аналогичных блокам плавучести (вспененные структуры) и поэтому может быть учтена в их составе.

В соответствии с [1] полная теоретическая вместимость судна из композитов определяется как:

$$W = V + W_{\text{в}} + W_{\text{р}}, \quad (13)$$

где W — полная вместимость судна;
 V — объемное водоизмещение;
 $W_{\text{в}}$ — вместимость корпуса выше КВЛ;
 $W_{\text{р}}$ — вместимость рубки и других верхних строений.
 В. В. Ашиком предложено уравнение вместимости с учетом коэффициента развития надстроек и рубок [1]:

$$W = (1 + \omega_{\text{р}}) V [1 + \alpha / \delta (H / T - 1) (1 + k_{\text{в}})], \quad (14)$$

где $\omega_{\text{р}} = W_{\text{р}} / W_{\text{в}}$ — коэффициент развития верхних строений;
 $k_{\text{в}}$ — коэффициент полноты объемов.

Анализ вместимости может быть произведен с использованием данных о габаритных размерах и формах корпуса и надстройки с использованием архитектурно-компоновочной схемы судна. Для упрощения задачи считаем, что относительный объем, занимаемый набором в корпусе и надстройке, одинаков. Тогда уравнение вместимости также может быть представлено в виде

$$W = b [\delta_{\text{к}} L_{\text{габ}} B_{\text{габ}} H + \delta_{\text{н}} L_{\text{н}} B_{\text{н}} H_{\text{н}}], \quad (15)$$

где $L_{\text{габ}}, B_{\text{габ}}$ — габаритная длина и ширина корпуса;
 H — высота борта;
 $L_{\text{н}}, B_{\text{н}}$ — габаритная длина и ширина надстройки;
 $H_{\text{н}}$ — высота надстройки;
 $\delta_{\text{к}}, \delta_{\text{н}}$ — коэффициенты полноты формы корпуса и надстройки;
 b — коэффициент, позволяющий учесть объем набора в объеме композитного корпуса и надстройки.

После произведенных преобразований получаем уравнение вместимости, связывающее главные размерения, нагрузку масс и габаритные размеры судна из композиционных материалов:

$$W = \delta L B T \left(1 + \frac{\delta_{\text{н}} L_{\text{н}} B_{\text{н}} H_{\text{н}}}{\delta_{\text{к}} L_{\text{габ}} B_{\text{габ}} H} \right) [1 + \alpha / \delta (H / T - 1) (1 + k_{\text{в}})], \quad (16)$$

Приравняв уравнения вместимости, получим

$$\begin{aligned} \delta LBT \left(1 + \frac{\delta_n L_n B_n H_n}{\delta_k L_{габ} B_{габ} H}\right) [1 + \alpha / \delta(H/T - 1)(1 + k_b)] = \\ = n_{пасс} w_{пасс} + W_{мо} + W_{топл} + W_{БП} + W_{вода}. \end{aligned} \quad (17)$$

Выразив отдельные слагаемые через элементы нагрузки масс, можно, например, получить выражение для расчета удельной кубатуры пассажирских помещений для судов-прототипов из композиционных материалов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости:

$$\begin{aligned} w_{пасс} = \frac{1}{n_{пасс}} \left\{ \delta LBT \left(1 + \frac{\delta_n L_n B_n H_n}{\delta_k L_{габ} B_{габ} H}\right) [1 + \right. \\ \left. + \alpha / \delta(H/T - 1)(1 + k_b)] - (k_{мо} N + k_{тб} \frac{P_{топл}}{\rho_{топл}} + \right. \\ \left. + k_{БП} \delta LBT + k_{вб} P_{воды}) \right\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Используя это уравнение, можно определить максимально возможную вместимость грузовых трюмов промыслового судна суточного лова из композиционных материалов, которую можно получить на судне с наперед заданными размерами:

$$\begin{aligned} W_{груз} = \delta LBT \left(1 + \frac{\delta_n L_n B_n H_n}{\delta_k L_{габ} B_{габ} H}\right) [1 + \alpha / \delta(H/T - 1)(1 + k_b)] - \\ - (n_{эк} w_{эк} + k_{мо} N + k_{тб} \frac{P_{топл}}{\rho_{топл}} + k_{БП} \frac{D}{\gamma} + k_{вб} P_{воды}), \end{aligned} \quad (19)$$

где $n_{эк}$ — численность экипажа;

$w_{эк}$ — удельный объем помещений, приходящийся на одного члена экипажа.

Для современных судов из композиционных материалов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости, весьма важным показателем качества проекта являются характеристики обитаемости. В соответствии с принципами, сформулированными А. Н. Крыловым, оценка значения критериального показателя качества судна (корабля) заключается в сравнении характеристик двух оцениваемых вариантов проекта или проекта и прототипа. Оценка значения критериального показателя качества судна в такой области эксплуатационных характеристик, как обитаемость, может производиться путем сравнения с нормативами, установленными нормативными документами (Санитарными правилами и др.)

Функциональный состав эксплуатационного качества «Обитаемость» может быть представлен в виде функции ψ , определяемой совокупностью факторов, характеризующих благоприятные условия пребывания людей на судне:

$$\psi = \sum_{i=1}^n a_i \frac{\Psi_i}{[\Psi_i]}, \quad (20)$$

где a_i — долевой коэффициент или коэффициент весомости i -го элемента обитаемости, Ψ_i — локальная функция, определяющая уровень составной части обитаемости.

При этом должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (21)$$

Локальными функциями, характеризующими обитаемость, являются отдельные функциональные качества:

— Ψ_1 — обеспечение качества воды и сохранение провизии;

— Ψ_2 — удельный объем и площадь, приходящиеся на одного человека (по категориям), состав каютного оборудования;

— Ψ_3 — характеристики системы обеспечения вентиляции, отопления, кондиционирования воздуха;

— Ψ_4 — эргономические характеристики, обеспечивающие удобство использования и обслуживания судового оборудования, приборов, систем;

— Ψ_5 — эстетико-психологические параметры интерьера жилых и общественных помещений;

— Ψ_6 — изолированность от шума и вибрации;

— Ψ_7 — минимизация вибрации;

— Ψ_8 — показатели плавности качки [10].

Как было сказано выше, в настоящее время нормативы, приведенные в соответствующих документах, не могут быть в полной мере использованы при проектировании судна из композиционных материалов. Поэтому в современном малотоннажном судостроении из композиционных материалов в качестве объекта сравнения чаще всего выступает не конкретное судно-прототип, а группа судов, обладающая достаточно близкими главными размерениями, полной массой, мощностью, эксплуатационными характеристиками и находящаяся в сопоставимом ценовом диапазоне для обеспечения конкурентоспособности проектных решений. В этом случае проектный анализ заключается в сравнении предполагаемых характеристик проектируемого судна с их осредненным значением по группе судов — претендентов.

Изложенным выше способом может быть выполнено проектное обоснование рационального обеспечения характеристик вместимости и обитаемости судов из композитов.

Список литературы

1. Ашик В. В. Проектирование судов / В. В. Ашик. — Л.: Судостроение, 1985. — 486 с.
2. Пашин В. М. Оптимизация судов / В. М. Пашин. — Л.: Судостроение, 1983. — 286 с.
3. Поздюнин В. Л. Теория проектирования судов / В. Л. Поздюнин. — Л.: Изд-во ЛКИ, 1938. — Ч. 1; 1939. — Ч. 2.
4. Современные катера и яхты 2004/2005. — М.: Премьера, 2004. — 478 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.
6. Францев М. Э. Классификация и проектные особенности создания форм и архитектурно-компоновочных схем современных судов из композиционных материалов с учетом их функционального назначения / М. Э. Францев // Речной транспорт (XXI век). — 2010. — № 6
7. Царев Б. А. Введение в художественное конструирование судов / Б. А. Царев. — Л.: ЛКИ, 1973. — 89 с.
8. Царев Б. А. Модульные задачи в проектировании судов / Б. А. Царев. — Л.: ЛКИ, 1978. — 96 с.
9. Царев Б. А. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б. А. Царев. — Л.: ЛКИ, 1988. — 102 с.
10. Юдкина Ю. В. Проектный выбор характеристик малых судов и катеров с учетом требований обитаемости: метод. указ. / Ю. В. Юдкина; СПбГМТУ. — СПб., 2009. — 35 с.