

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений судостроения является применение композиционных материалов. Их положительные свойства перевешивают некоторые сложности технологического и эксплуатационного характера. Задачей проектанта является создание такого конкурентоспособного судна, у которого максимально использован положительный потенциал и в возможно большей степени снижены или отсрочены негативные факторы. Решение достигается с помощью системных проектных исследований при оптимизационном подходе и при использовании значимых экономических критериев [1].

Главное преимущество композиционных материалов – их высокая удельная прочность (отношение допускаемых напряжений к плотности). Применение этих материалов позволяет снижать массу конструкций, что особенно важно для относительно малых судов. Это объясняется тем, что в диапазоне малых длин судов толщины обшивки и сечения профилей набора у металлических конструкций приходится назначать избыточными по эксплуатационным и конструктивным соображениям. Экономия масс особенно важна для скоростных судов, так как именно каждый процент экономии массы позволяет снизить на тот же процент мощность либо увеличить скорость [2].

Композиционные материалы более пластичны, чем металлы и древесина, поэтому появляется возможность создания более обтекаемых форм корпуса и надстроек, более свободного формирования архитектурного облика судна.

Конкурентоспособным в большинстве случаев считается такое судно, у которого по расчетам проектанта минимален срок окупаемости. Для вычисления этого критерия необходима информация о предполагаемой цене и ожидаемой прибыли. Если прибыли не ожидается (например, для спасательных катеров – рис. 1), то критерием может стать либо минимум самой цены, либо максимум функционального эффекта [3].

Конструкции из композиционных материалов уже достаточно широко при-

## ПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СУДОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*М.Э. Францев, канд., техн. наук, докторант,  
В.К. Ханухов, аспирант,  
Б.А. Царев, д-р техн. наук, профессор, СПбГМТУ,  
контакт. тел. (812) 449 0969*



*Рис. 1. Легкий спасательный катер из композиционных материалов*

меняются на малых исследовательских и рыболовных судах (рис. 2–5), спортивных и развозных катерах. На судах этих групп применение облегченных конструкций может привести к следующим положительным изменениям [4, 5]:

1) повышению мощности, скорости, уменьшению запаса топлива и затрат на топливо в результате уменьшения массы корпуса и массы порожнем;

2) увеличению массы топлива, воды и провизии, а, следовательно, и повышению дальности и автономности плавания;

3) увеличению объемов в надводной части судна, что будет сопровождаться ростом масс конструкций надстроек; сам же прирост объемов можно использовать для улучшения обитаемости и комфортабельности [6];



*Рис. 2. Катер для сейсмических исследований*



*Рис. 3. Промысловое судно японской постройки*



*Рис. 4. Промысловое судно европейской постройки*



*Рис. 5. Промысловое судно австралийской постройки*

4) повышению грузоподъемности или полезной массы оборудования, численности пассажиров или научного персонала;

5) увеличению размеров грузовых помещений в корпусе, повышению высоты надводного борта, а значит, перевозке более выгодных грузов с более высокой удельной погрузочной кубатурой;

6) за счет повышения надводного борта к увеличению запаса плавучести и повышению непотопляемости;

7) снижению положения центра тяжести, если применить конструкции из композиционных материалов только в верхних строениях, так как форму корпуса и размерения можно оставить старыми, то сохранится возвышение метацентра, но повысится метацентрическая высота, улучшатся остойчивость и мореходность.

В любой из отмеченных альтернатив либо повышается функциональная эффективность спроектированного судна, либо уменьшаются затраты. Положительное решение о применении компо-

зиционных материалов зависит от того, удастся ли компенсировать их повышенную стоимость.

Достаточно широкое применение судов из композиционных материалов во всех частях света показывает, что во многих случаях это удается. Но необходимо иметь такую эффективную модель формирования конкурентоспособности, которая позволяла бы решать конкретные задачи в определенных географических и экономических условиях.

Наряду с отмеченными выше преимуществами при конкретном анализе надо учитывать такие недостатки этих материалов, как уменьшенные сроки службы из-за наличия явлений усталости и ползучести, возрастание рыночных цен на корпуса из них, трудности поддержания или изменения первоначального цветового решения.

Интервал длин судов и их функциональных назначений при использовании композиционных материалов определяют исходя из возможности технической и экономической конкуренции. Одним из наметившихся направлений является применение обсуждаемых конструкций для малых сторожевых кораблей типа «корвет» (рис. 6).



Рис. 6. Шведский корвет, корпус которого выполнен из композиционных материалов

## УЧЕТ СПЕЦИФИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

При анализе достигаемого в ходе проектирования уровня конкурентоспособности можно сопоставлять либо разные проектные варианты, либо любую из них с эталонными судами, которые признаны соответствующими мировому уровню качества. Применительно к судам из композиционных материалов одной из частных задач является определение их длины, при которой преимущество этих материалов исчерпывается. Для каждой из функциональных групп судов и катеров, упомянутых во введении, эти длины будут различны. Это связано в первую очередь с различием условий эксплуатации, во вторую – с необходимостью использования иных критериев. Для спасательных судов логично применение критерия предотвращенного ущерба, при этом сохраняется понятие срока окупаемости, хотя количественные оценки будут до некоторой степени условны. Этот же критерий можно применить, если из

композиционных материалов будут строить суда, решающие экологические задачи.

При разработке оптимизационных моделей необходимо учитывать свойства технологичности, эксплуатационной работоспособности, ресурс прочности, надежность, долговечность, ремонтпригодность [7]. Это позволит дополнить те исходные модели, которые соответствуют функциональному назначению и доминантным условиям эксплуатации. К сожалению, подмодели по разделам «технологичность», «долговечность», «ремонтпригодность» применительно к практике оптимизационного проектирования ранее не рассматривались, поэтому после уточнения самих исходных моделей потребуются еще их адаптация к «проектному языку».

Срок службы судна или катера определяется главным образом долговечностью. Конечно, он может быть увеличен или продлен за счет улучшения ремонтпригодности и других смежных показателей, но базовая часть определяется характеристиками основного конструкционного материала, в данном случае композиционного. Этот материал все увереннее выходит на первое место при создании катеров, моторных яхт, рыболовных судов [8, 9].

Данный материал в ходе эксплуатации судна сопровождается статическим старением даже при умеренных температурах. При нагревании повреждения накапливаются. Применяемый в анализе таких вопросов критерий Бейли абстрактно устанавливает лишь принципиальную возможность суммирования повреждений, но не дает ответа на вопрос о конкретных факторах, подлежащих учету.

В качестве более работоспособного критерия можно взять интеграл от изменения нормативного предельного напряжения  $[\sigma]$ , деленного на сумму интенсивностей нагружения (соотношений частных изменений напряжений  $\Delta\sigma$ , проявившихся в конкретные интервалы работы конструкции  $\Delta t$ ). Тогда саму долговечность  $[t]$  можно выразить в виде

$$[t] = [\sigma] / \sum (\Delta\sigma / \Delta t). \quad (1)$$

Для стержневых растягиваемых конструкций физическую картину установления долговечности как времени от начала силового нагружения конструкции до ее разрушения  $t$ , можно прояснить с помощью формулы Аррениуса:

$$t = a - b\sigma / T^0. \quad (2)$$

Здесь  $a$  – коэффициент потенциала свойств конструкции;  $b$  – коэффициент термодинамического воздействия;  $\sigma$  – среднее значение напряжения, возникшего от приложения нагрузки;  $T^0$  – абсолютная температура.

Поскольку данные по коэффициентам  $a$  и  $b$  неустойчивы и малодоступ-

ны, формулы типа (1) служат только указателями учитываемых факторов. Если  $\sigma$  характеризует энергию внешних силовых воздействий, то  $T^0$  учитывает изменения энергетики и в самой конструкции и в прилегающей среде. Следовательно, кинетика процесса разрушения неотделима от баланса энергетики. Но попытки некоторых исследователей прямо включить энергию активации разрушения в расчетные формулы вряд ли будут удачными, так как такую энергию можно определить лишь в лабораторных условиях и для эталонных образцов.

Под напряжением  $\sigma$  обычно подразумевается сила, распределенная по площади и физически эквивалентная внутреннему давлению. В то же время в задачах изгиба судов на волнении напряжение – это момент, сопоставленный с моментом сопротивления, а при объемном воздействии действующим субъектом является именно энергия. Теплота – одна из форм энергии, она может проявляться и в виде прямого нагревания и как следствие процессов трения, удара и других контактных воздействий.

Чем быстрее судно, тем удобнее вместо прямой оценки теплоты ориентироваться на реализуемую мощность или на квадрат скорости. Так как объем катера и другого судна соизмерим с его полной массой и водоизмещением, удельная мощность  $N/D$  (отношение мощности к полной массе) фактически является потенциалом интенсивности напряжений. Она может быть включена в процесс анализа как один из факторов, пропорциональных внешнему нагружению конструкции. Поскольку  $N$  и  $D$  относятся к главным проектным характеристикам, ими удобно пользоваться при анализе баз данных о повреждениях, авариях и разрушениях [1, 10].

В аналогичной роли можно представить квадрат скорости ветра или высоту волны. Условия штормового воздействия могут учитываться и непосредственно по установившимся в морской практике шкалам балльности.

В формуле (1) наибольший интерес представляет знаменатель, который характеризует «накопление повреждений»:

$$\psi = \sum (\Delta\sigma / \Delta t). \quad (3)$$

Эту формулу для практических целей можно записать в виде, позволяющем суммировать повреждения  $\psi_i$ :

$$\psi = \sum \psi_i; \quad (4)$$

$$\psi_i = \sum (\Delta\sigma / \Delta t)_i. \quad (5)$$

Здесь могут быть учтены повреждения любого вида и в любом структурном и элементном представлении, удобном для того или иного исследователя. Если в конкретном повреждении надо активно учесть термодинамические или гидродинамические факторы, то это делается в соответствии с конкретной физи-



ческой или статистической моделью. В большинстве же случаев вместо прямого определения напряжений достаточно просуммировать индикаторы конкретных «повреждений», умноженные на переходные множители, соответствующие физике процесса.

При использовании понятия «повреждение» и оценке роли конкретного повреждения  $\Psi_i$  значительную роль играет способ экспертных оценок, так как в вопросах прогнозирования развития и суммирования повреждений это неизбежно [3, 11].

Если какой-либо показатель и вид повреждения будет комбинироваться из частных показателей и видов повреждений  $\Psi_i$  в форме

$$\Psi_i = \sum_{i=1}^n a_i \Psi_i, \quad (6)$$

где  $a_i$  – долевой коэффициент или коэффициент весомости  $i$ -го элемента, причем

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad (7)$$

то учет мнения экспертов потребует при установлении конкретных значений долевых коэффициентов, частных показателей повреждений  $\Psi_i$  и их оценок.

Кроме этого, экспертизе может быть подвергнут сам состав учитываемых частных повреждений. Среди повреждений методически логично выделить, например, зависящие от режима и периода эксплуатации: 1) на ходу судна при хорошей погоде; 2) на ходу при неблагоприятной погоде; 3) на стоянке у пирса; 4) на береговом стояночном месте при возможности поднимать катер или малое судно из воды; 5) при хранении судна в межнавигационный период в отапливаемом эллинге; 6) при хранении на открытом воздухе, в том числе и в зимний морозный период. Для каждого периода могут быть установлены их длительности и выделены типовые виды повреждений, установлены их интенсивность и негативный результат, характеризующий своим долевым коэффициентом. Подразумевается, что все шесть частных длительностей учтенных режимов относятся к межремонтному периоду.

При ремонтах часть повреждений может быть устранена, у части деталей может быть восстановлена исходная структура, что позволит откорректировать учитываемый баланс накопленных повреждений.

При дальнейшем проектном обосновании пассажирского или спасательного скоростного судна и при выборе для него лучшего варианта конструктивных материалов на первый план выходят вопросы предотвращения гибели людей и судов либо минимизации возникающего при аварии ущерба. Это приводит к применению критерия предотвращенного ущерба. Для других групп судов может

использоваться наиболее часто применяемый критерий совокупных затрат [1, 3, 10–12].

Для пассажирских катеров и судов результаты неразрушающего контроля технического состояния композиционных материалов важны не только при решении вопроса о дальнейшей безопасной их эксплуатации, но и являются базой для проектных мер обеспечения долговечности, надежности и безопасности [13–18].

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Алгоритм проектных обоснований подсистемы «корпус» судна из композиционных материалов включает в себя прежде всего выбор рационального теоретического чертежа. Далее выделяют наиболее важные части корпуса, доминантно влияющие на его прочность, долговечность и уровень технического состояния. С учетом этого выбирают рациональные конструктивные материалы по характеристикам, известным из баз данных.

Затем наступает очередь технологических обоснований: разработка послыонного положения элементов композиционных конструкций, обеспечивающая не превышение расчетной массы корпуса (рис. 7); учет правил смесей; определение расчетных нагрузок; проверка прочности и устойчивости; определение зон возможного разрушения конструктивных элементов; проектирование местных усилений и подкреплений.

В результате образуется сложная многокомпонентная структура (рис. 8).

В этой структуре сочетаются как характерные элементы композицион-

ных конструкций, так и иные конструктивные элементы. К первым относятся стеклоткани, виниловые покрытия, пенополиуретан, микропора, ровинговая ткань, поликор, бальза, полиэфир. Во второй группе представлены элементы из нержавеющей стали, алюминия, латуни, древесины; мелкие элементы швартовного и леерного оборудования, осушительной системы, лючков, петель, патрубков, фиксаторов, кабельных элементов и жгутов, ковровые покрытия, наполнители для улучшения звукоизоляции и вибропоглощения. Из рис. 8 видно, что даже для небольшого фрагмента катера общая номенклатура таких элементов содержит несколько десятков наименований.

## УСЛОВИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ДОПУСТИМОЙ ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ

При проектировании малых скоростных судов при определении области допустимых значений оптимизируемых переменных следует учитывать ряд проектных ограничений и граничных условий, из которых (помимо обязательности условий плавучести и экономичности) основными являются следующие:

1. **Компоновка.** Ограничения на габаритные размеры проектируемого судна (или на один из них):

$$L_{\max} \geq L_{\text{заб}} \geq L_{\min}; \quad (8)$$

$$B_{\max} \geq B_{\text{заб}} \geq B_{\min}; \quad (9)$$

$$T_{\max} \geq T_{\text{заб}} \geq T_{\min}, \quad (10)$$

где  $L$  – длины;  $B$  – ширины;  $T$  – осадки проектируемых судов.

2. **Вместимость.** Установление габаритов корпуса, обеспечивающих требуемую вместимость всех помещений:

$$k_1 L_{\text{вс}} B_{\text{вс}} H_{\text{вс}} \geq \sum W_i \geq W_{\text{норм}}, \quad (11)$$

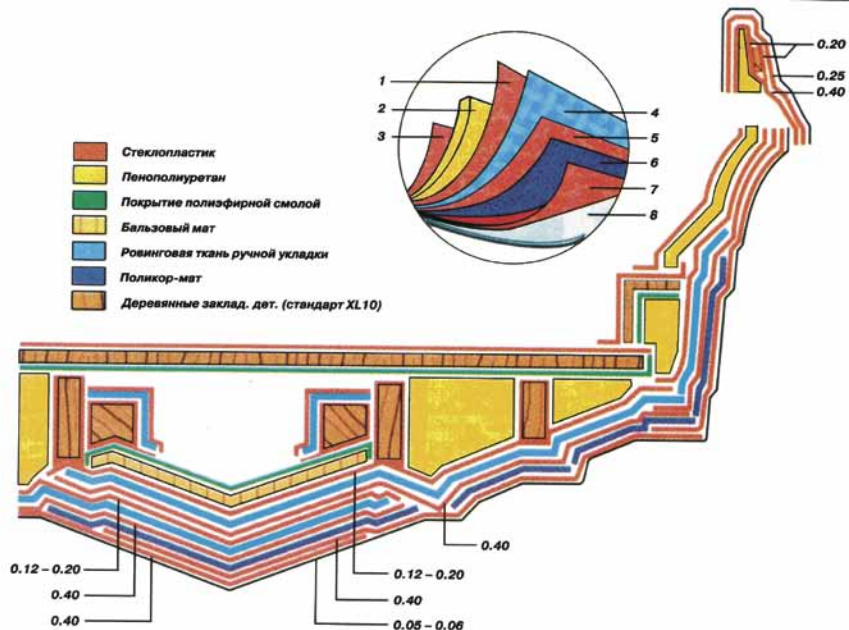


Рис. 7. Схема распределения элементов и слоев конструкции из композиционных материалов

1, 3, 5, 7 – стеклопластик; 2 – пенополиуретан; 4 – ровинговая ткань ручной укладки; 6 – полиэфирный поликор-мат; 8 – гелькоут

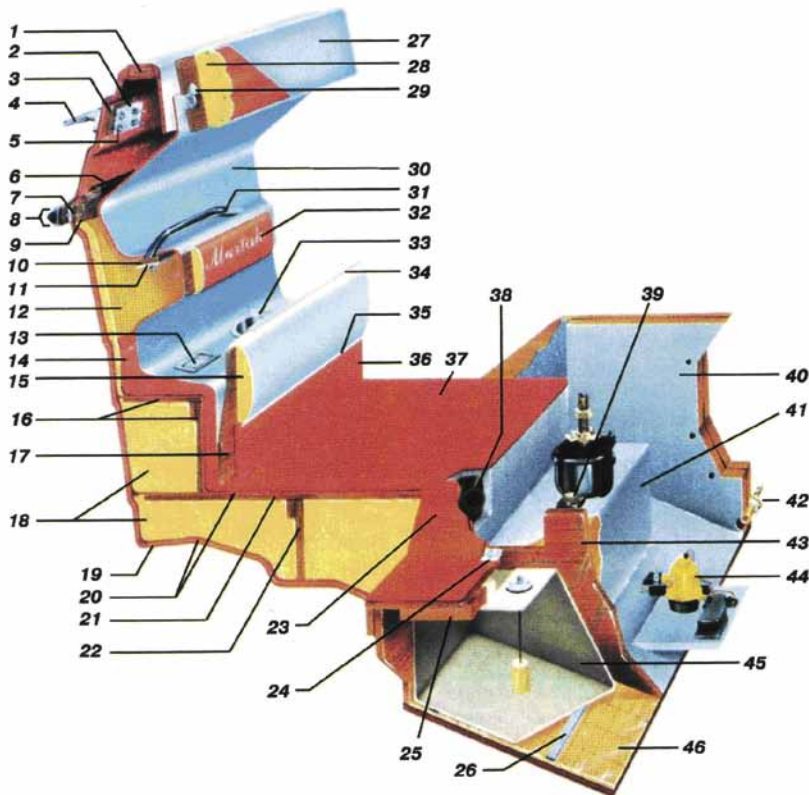


Рис. 8. Структура конструкции катера из композиционных материалов

1 – заформованная подкладка планширя; 2 – алюминиевые пластины под утками; 3 – деревянная заформовка под утку; 4 – швартовная утка из нержавеющей стали; 5 – нержавеющий крепеж утки; 6 – жгут электропроводки; 7 – нержавеющий крепеж стыка секций; 8 – виниловый защитный профиль привального бруса; 9 – усиливающая планка на стыке секций; 10 – деревянная заформовка под поручень; 11 – алюминиевая пластина под поручнем; 12 – пенополиуретановый звуко-виброизолирующий наполнитель борта; 13 – пепельница из нержавеющей стали; 14 – вибропоглощающее ковровое покрытие; 15 – микропористая зашивка кокпита; 16 – система заформованных продольных связей; 17 – жесткая основа зашивки кокпита; 18 – вспенивающийся наполнитель межсекционного пространства; 19 – ровнинговая ткань и полкор в составе ламината ручной укладки; 20 – полиэфирный стеклопластик; 21 – заформованное усиление палубы кокпита (стандарт ХИО); 22 – система днищевых стрингеров (стандарт ХИО); 23 – крышка люка для доступа в топливный отсек; 24 – петли из нержавеющей стали; 25 – фиксатор топливного бака; 26 – мягкая подкладка топливного бака; 27 – виниловая зашивка – по выбору заказчика; 28 – микропористый материал зашивки «Ultracell»; 29 – алюминиевый крепеж панелей зашивки; 30 – пластиковая секция зашивки борта; 31 – поручень из нержавеющей стали; 32 – вышитый логотип; 33 – алюминиевое гнездо для стаканов; 34 – алюминиевый защитный профиль; 35 – атмосферостойкий полэфирный ранти; 36 – полоса атмосферостойкой вертикальной зашивки; 37 – атмосферостойкое палубное покрытие; 38 – патрубок заливной горловины бака; 39 – монтажные болты двигателя (1/2 дюйма); 40 – транец; 41 – рама-фундамент двигателя; 42 – латунная дренажная арматура; 43 – фанерная переборка (стандарт ХИО); 44 – автоматическая осушительная помпа; 45 – топливный бак; 46 – бальзовый мат-наполнитель толщиной около 12 мм.

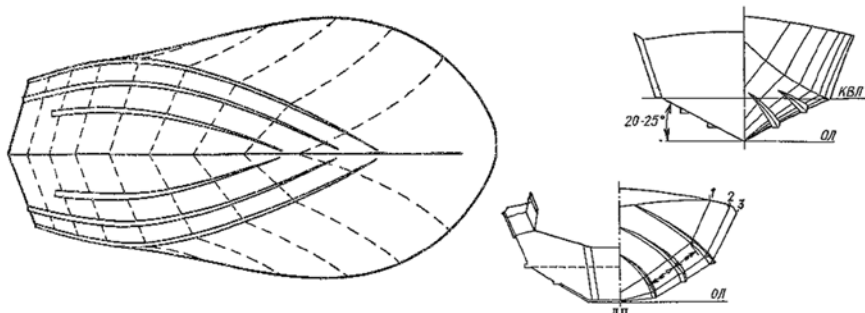


Рис. 9. Типичная форма днища и поперечных сечений для скоростных судов из композиционных материалов

где  $k_1$  – коэффициент полноты надводного объема судна;  $H_{ис}$  – высота надводных строений;  $W_i$  – объемы конкретных помещений;  $W_{осн}$  – объем помещений основного назначения.

3. **Массы.** Ограничения полной массы  $D$  («полного водоизмещения») и массы корпуса  $P_{корп}$  с учетом минимизации мощности  $N$ :

$$D_{max} \geq D = kP_{корп}; \quad (12)$$

$$D_{max} = N / a v \geq D, \quad (13)$$

где  $k$  – отношение полной массы прототипа к массе его корпуса;  $a$  – отношение мощности двигателей прототипа к произведению его полной массы на скорость;  $v$  – скорость в узлах.

4. **Ходкость.** Условие запаса мощности и ориентация на скорость, обеспечивающую режим глиссирования:

$$N_{max} \geq N; \quad (14)$$

$$v \geq [Fr_v] (g \cdot (D/\gamma)^{0.33})^{0.5} \quad (15)$$

при  $[Fr_v] = 2,5-2,8$ , где  $Fr_v$  – число Фруда по объему;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\gamma$  – плотность воды.

5. **Эффективность.** Достижение уровня благоприятного гидродинамического качества  $K$ :

$$K \geq K_{min}. \quad (16)$$

6. **Дальность.** Запас топлива  $P_{топл}$ , обеспечивающий заданную длительность рейса  $t$ :

$$P_{топл} \geq k_2 q N t, \quad (17)$$

где  $k_2$  – морской запас с учетом работы электростанции и надбавки на расход смазки;  $q$  – удельный расход топлива.

7. **Центровка.** Положение центра масс  $x_g$  по длине судна по отношению к кормовому перпендикуляру:

$$0,36 L \geq x_g \geq 0,41 L. \quad (18)$$

8. **Форма корпуса.** Ограничение допускаемых углов килеватости из условий мореходности и ходкости:

$$\beta_{max} \geq \beta \geq \beta_{min}. \quad (19)$$

9. **Мореходность.** Соотношение максимальных ускорений при качке  $a_{max}$  с ускорением силы тяжести  $g$  в виде допустимой перегрузки  $n$ :

$$g \geq n \cdot a_{max}. \quad (20)$$

10. **Управляемость.** Допустимый статический крен на циркуляции  $\theta_{cm}$  (на основе формулы Фирсова):

$$\theta_{cm} = [1,4v^2 / (Lh_{min})] (Zg - 0,5T), \quad (21)$$

где  $h_{min}$  – минимальное значение метацентрической высоты;  $Zg$  – возвышение центра масс.

11. **Остойчивость.** Условие начальной остойчивости по величине метацентрической высоты при заданных условиях эксплуатации:

$$h \geq h_{min}. \quad (22)$$

На последующих стадиях проектирования остойчивость и ходкость рассматривают детальнее. Учитываются также условия прочности, конструктивной рациональности, непотопляемости, противодействия дрейфу, необходимости применения подруливающих устройств и



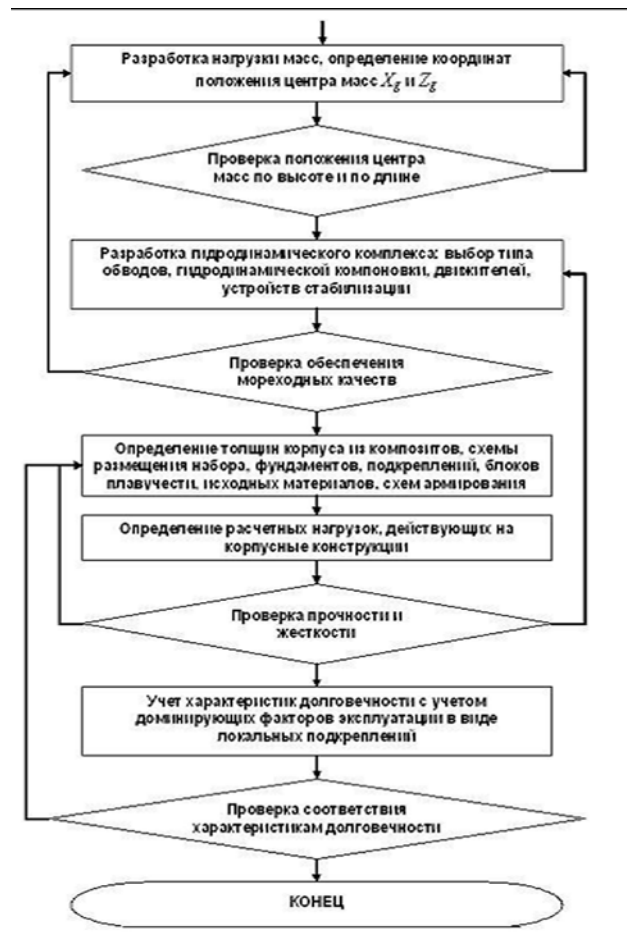
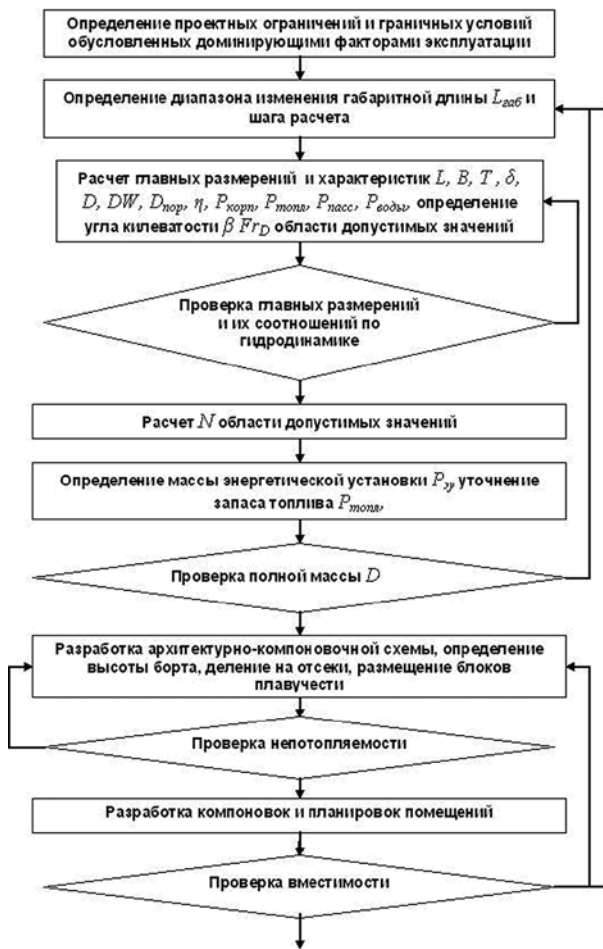


Рис. 10. Структурная схема методики обоснования проектных характеристик судов из композиционных материалов

успокоителей качки (рис. 10). Из схемы видно, что при проектном анализе обязательно и многократно учитываются вопросы состава нагрузки, технологичности и ремонтпригодности [19].

Структурная схема содержит также ряд проектных элементов и характеристик, не учтенных в формулах (1) – (16), а именно: коэффициент общей полноты, дедвейт, массы энергетической установки, пассажиров и воды. Рассмотрены также такие проектные процедуры, как разработка архитектурно-компоновочной схемы, определение высоты борта, деление на отсеки, размещение блоков плавучести; разработка гидродинамического комплекса и движителей; определение толщин корпуса, размещение набора, фундаментов, схемы армирования. Совокупность изложенных зависимостей, схема и способ оценки технического состояния легли в основу методик, которые позволяют:

– обследовать методами неразрушающего контроля корпуса судов из композиционных материалов и оценивать их техническое состояние;

– принимать во внимание концентрации дефектов эксплуатационного характера на корпусе судна из композиционных материалов с учетом критериев долговечности, определять остаточный ресурс конструкций и формулировать проектные рекомендации по созданию долговечных судов.

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ С ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ СУДНА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вследствие технических особенностей конструкций из композиционных материалов в них чаще возникают и труднее обнаруживаются дефекты, потенциально опасные для прочности, долговечности и надежности. При этом они более ремонтпригодны, однако для реализации этого необходимо своевременное обнаружение дефектов. Классификация основных дефектов представлена в табл. 1.

Одним из наиболее серьезных факторов, приводящим к возникновению



Рис. 11. Последовательность возникновения дефектов водопоглощения

Таблица 1  
Группировка преобладающих дефектов при эксплуатации по их влиянию на свойства проектируемого судна из композитов

Дефекты, возникающие в процессе эксплуатации в нормативном режиме	Виды
Внешние	Сколы
	Наружные трещины декоративного слоя
	Отслоение декоративного слоя
	Эрозионный износ декоративного слоя
Внутренние	Поверхностное водопоглощение («космос»)
	Изменение структуры декоративного слоя
	Конструкционные трещины
Аварийные дефекты	Расслоения 1-го рода (структурные)
	Расслоения 2-го рода (осмотические)
Внешние	Потертости и вмятины
	Разрушение декоративного слоя
Внутренние	Поверхностные царапины и трещины
	Расслоения 1-го рода
Нарушение структуры	Утрата целостности конструкции

дефектов, является водопоглощение (рис. 11). Основной «враг» для корпуса из ламината и его полиэфирного гелевого покрытия – вода из внешней среды, но существенную опасность представляют собой пары воды в трюме и других внутренних помещениях.

Имеющаяся в ламинате влага разлагает его, а продукты разложения в конечном счете приводят к вздутию покрытия. Такое вздутие неприятно само по себе, но оно одновременно служит сигналом о расслоении ламината и потере им ресурса прочности.

Таким образом, при практической эксплуатации флота многочисленных прогулочных катеров одной из причин аварий является как прямой износ корпусных конструкций, так и проявление скрытых дефектов, приводящих к потере прочностного потенциала. Особенно это актуально для наиболее скоростных катеров из композиционных многослойных материалов, у которых зоны интенсивного трения и вихреобразования характеризуются в первую очередь появлением серьезных дефектов (рис. 12).

При проектировании катеров из подобных материалов необходимо учитывать опыт эксплуатации и систематизировать результаты освидетельствований (рис. 13). При этом желательно пользоваться неразрушающими методами контроля и современными методиками расчетной оценки остаточной прочности. Чтобы спроектировать катер с требуемым сроком службы, надо включать элементы оценки технического состояния в проектные методики.

В начале проектного анализа технического состояния корпуса судна из композиционных материалов необходимо рассмотреть особенности района его эксплуатации. Далее надо учесть результаты исследования корпусов методами неразрушающего контроля. После накопления статистики о дефектах элементов судна можно выделить наиболее нагруженные конструкции и сформулировать проектные рекомендации, предусмотрев более эффективные методики расчета прочности, жесткости и долговечности композиционных конструкций.

При контроле корпуса фиксируются места разрушения, оцениваются их площади, проводится качественная классификация видов дефектов. Для конкретных конструкций учитывается влияние износа на их эффективные толщины и сечения профилей набора. Затем для реализации расчетной процедуры определяются модуль упругости, коэффициенты Пуассона, действующие нагрузки. По этим данным определяется цилиндрическая жесткость конструкции и производится сопоставление с допускаемыми напряжениями. При

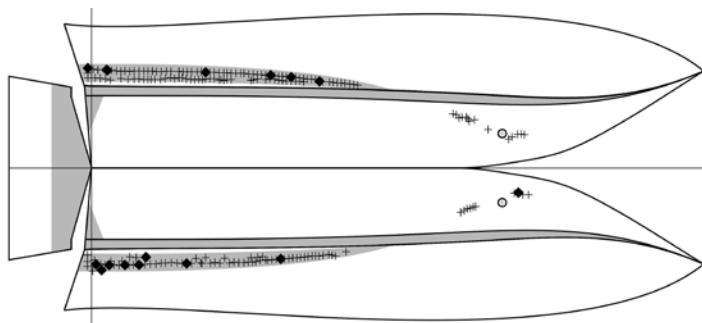


Рис. 12. Схема расположения дефектов на корпусе скоростного судна



Рис. 13. Обобщенная схема расположения эксплуатационных дефектов на корпусе судна

этом учитывается «старение» композиционного элемента.

Предлагаемый подход позволяет своевременно поставить вопрос о ремонте катера либо об ограничении района его эксплуатации, что способствует предотвращению гибели людей, а также убытка от возможной потери катера. Поэтому исследование вопросов долговечности и надежности так актуально при проектировании катеров из композиционных материалов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конкурентоспособность судов из композиционных материалов достигается благодаря высокой удельной прочности этих материалов, достигаемой частной экономией масс и возможностью за счет этой экономии повысить эффективность эксплуатации судов. Для реализации конкурентного потенциала необходимо применять композиционные материалы при постройке судов, для которых допустимы умеренные сроки службы. Для надзора за техническим состоянием таких судов и обеспечения их безопасного применения должны использоваться способы неразрушающего контроля. При проектировании и эксплуатации судов из композиционных материалов необходимо учитывать те особенности, которые рассмотрены в данной

статье и в других работах авторов [15, 16, 20 – 22].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аших В.В. Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1985.
2. Вазанов А.М. Проектирование скоростных судов. – Л.: Судостроение, 1978.
3. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: Моринтех, 2001.
4. Горинев М.М., Трухачев Д.В., Царев Б.А. Исследование конкурентоспособных вариантов рыболовных судов. – Докл. первой секции на «круглом столе» по проблеме конкурентоспособности судостроительной промышленности. СПб., НТО им. акад. А.Н. Крылова, 2008, с. 78 – 80.
5. Деревянкин Ф.В., Трухачев Д.В., Францев М.Э., Царев Б.А. Перспективы применения на малых рыболовных судах новых конструктивных схем и материалов. – Докл. первой секции на «круглом столе» по проблеме конкурентоспособности судостроительной промышленности. СПб., НТО им. акад. А.Н. Крылова, 2008, с. 83 – 86.
6. Дехтярь Л.А., Костоков А.А., Ханухов В.К., Царев Б.А. Аналитические аспекты архитектурно-компоновочного проектирования морской техники. – Докл. первой секции на «круглом столе» по проблеме конкурентоспособности судостроительной промышленности. – СПб., НТО им. акад. А.Н. Крылова, 2008, с. 18 – 20.
7. Крыжжев Г.Б. Особенности расчета динамических нагрузок, определяющих общую прочность скоростных судов. – Тр. науч. конф. «Бубновские чтения–1997». – СПб., ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1998, с. 105 – 106.
8. Лвин Аунг Соэ, Часовников Н.Ю., Царев Б.А. Пути повышения мореходности рыболовных судов. – Избр. докл. 3-й Сахалинской

- науч.-техн. конфер. «Мореходство и морские науки». Южно-Сахалинск, СахГУ, 2011, с. 44 – 55.
9. *Михелев К.С.* Проектный анализ зарубежных моторных яхт. – Мат-лы третьей студ. конфер. «Моделирование явлений в технических и гуманитарных науках», СПб., Изд. центр МТУ, 2006, с. 90 – 93.
  10. *Ногид Л.М.* Теория проектирования судов. – Л.: Судпромгиз, 1955.
  11. *Пашин В.М.* Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983.
  12. *Поздюнин В.Л.* Теория проектирования судов. – Л. – М.: ОНТИ, 1935.
  13. *Потапов А.И., Пеккер Ф.П.* Неразрушающий контроль конструкций из композиционных материалов. – Л.: Машиностроение, 1977.
  14. *Сучков А.И., Францев М.Э., Юджина Ю.В., Шифман А.Л.* Особенности проектной оценки конкурентоспособности для пассажирских судов. – Докл. первой секции на «круглом столе» по проблеме конкурентоспособности судостроительной промышленности. – СПб., НТО им. акад. А.Н. Крылова, 2008, с. 24 – 26.
  15. *Францев М.Э.* Изучение проектных и эксплуатационных способов обеспечения безопасности судов из композиционных материалов. – Сб. докл. междунар. семинара «Суда будущего» секции «Проектирование судов» ЦП НТО им. акад. А.Н. Крылова. – СПб., НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, 2007, с. 20 – 23.
  16. *Он же.* Обоснование проектных критериев эксплуатационной прочности и долговечности композитных катеров. – Сб. докл. междунар. семинара «Суда будущего» секции «Проектирование судов» ЦП НТО им. акад. А.Н. Крылова. – СПб., НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, 2007, с. 86 – 90.
  17. *Он же.* Анализ и проектное нормирование нагрузок для глиссирующего катера из композиционных материалов. – Докл. первой секции на «круглом столе» по проблеме конкурентоспособности судостроительной промышленности. – СПб., НТО им. акад. А.Н. Крылова, 2008, с. 27 – 30.
  18. *Францев М.Э., Шифман А.Л.* Проектная модель учета вопросов долговечности корпусов судов из композиционных материалов. – Докл. первой секции на «круглом столе» по проблеме конкурентоспособности судостроительной промышленности. – СПб., НТО им. акад. А.Н. Крылова, 2008, с. 31 – 34.
  19. *Царев Б.А.* Проектные аспекты судоремонта. – В кн.: Тез. Докл. всесоюзной конфер. «Научно-технический прогресс в судоремонте в новых условиях хозяйствования». – Л.: Судостроение, 1991, с. 13 – 15.
  20. *Он же.* Оптимизационное проектирование скоростных судов. – Л.: Изд. ЛКИ, 1988.
  21. *Царев Б.А., Левин Аург Соз.* Проектный анализ нагрузки, вместимости и остойчивости рыболовных судов // Морские интеллектуальные технологии. – 2010. – № 2. – С. 15–19.
  22. *Царев Б.А., Ханушов В.К.* Анализ архитектурно-компоновочного облика при проектировании исследовательских судов // Морской вестник. – 2010. – № 4 (32). – С. 95–99. ■

Рецензент:

**А.И. Гайкович**, д-р техн. наук, проф.