

УДК 629.12.001

Принципы проектирования корпуса скоростного судна из композитов по условиям его весовой эффективности и обеспечения жизненного цикла.

The principles of designing of high-speed boat hull from composites for the terms of its weight efficiency and lifecycle.

М.Э. Францев

M. Frantsev

Минимум водоизмещения порожнем скоростного судна из композитов обеспечивается за счет минимума массы его корпуса при равных других статьях нагрузки. Приведены проектировочные уравнения, обосновывающие критерий минимума толщины обшивки корпуса из композитов. Эксплуатационное поведение композита учитывается развитием в нем дефектов, а также изменением характеристик прочности и долговечности композита в районе дефекта. Расчет концентрации внутренних дефектов типа расслоение по критерию Бейли, выполнен для группы судов из композитов, прошедших операцию дефектоскопии в Московском регионе. Также расчеты выполнены для внутренних дефектов для трех случаев: пластина в новом корпусе, пластина в корпусе в конце жизненного цикла и вероятность разрушения новой пластины с дефектом типа расслоение. Старение композита учитывалось по Правилам Российского Речного Регистра. В первом случае запас прочности целой пластины и пластины с дефектом обеспечен. Во втором случае – нет. В третьем случае вероятен рост дефекта. Во втором и третьем случаях техническое состояние корпуса судна из композитов может быть признано, соответственно, ограничено годным и негодным.

Проектирование скоростных судов из композитов, весовая эффективность, жизненный цикл, внутренние дефекты типа расслоение

The minimum of displacement empty of high-speed craft from composites is ensured by the minimum weight of his hull. Engineering equations are given for justifying criterion of a minimum thickness of the plating of hull from composites. The behaviour for composites for exploitation takes into account the development of internal defects type delamination, as well as changes in the characteristics of strength and durability of the composite in the area of the defect. The calculation of the concentration of internal defects type delamination such as stratification criterion Bailey made for a group of high-speed vessels from composites that have passed inspection by defectoscopy in the Moscow region. Also, calculations are made for internal defects for three cases: the plate in the new building, the plate in the housing at the end of the life cycle and the probability of failure of the new plate which has the internal defect type delamination. The aging of the composite was taken by Rules of the Russian River Register. In the first case operating voltage is less than the permissible voltage. The operating voltage is more than the permissible voltage in the second case. The third case is likely to increase internal defect type delamination. In the second and third cases, the technical condition of the hull from the composites can be found is limited to fit and unfit.

Design of high-speed vessels made of composites, the weight efficiency, life cycle, internal defects such as delamination

Объективная оценка экономической эффективности эксплуатации скоростного судна из композитов опирается на использование определенных критериев. В качестве таких критериев, например, для скоростных судов используются их интегрированные расходные характеристики, включающие удельный расход топлива главных двигателей, их мощность, полную массу судна, скорость, а также характеристики их полезной нагрузки. Известно, что наибольшую долю в совокупной структуре прямых расходов на эксплуатацию скоростного судна составляют расходы на топливо. Поэтому при анализе эффективности эксплуатации любых типов скоростных пассажирских судов целесообразно выполнить сравнительный анализ их интегрированных расходных характеристик. Подробнее эти вопросы рассмотрены в работе [1]. Отсюда следует условие минимизации расхода топлива скоростного судна на перемещение 1 т дедвейта (полезной нагрузки) на 1 км пути в виде:

$$P_{DW} = \frac{qN}{D\eta v} \rightarrow \min \quad (1)$$

Для пассажирских скоростных судов это также условие минимизации расхода топлива на перемещение 1 пассажира на 1 км пути (на 1 пасс-км) в виде:

$$P_{ПАСС} = \frac{qN}{nv} \rightarrow \min \quad (2)$$

Рассмотрим принципы повышения характеристик эффективности скоростного судна из композитов, реализуемых на этапе проектирования.

Представим нагрузку масс скоростного судна из композитов в виде:

$$D = \sum_{i=1}^n P_i = D_{nop} + DW \quad (3)$$

где  $P_i$  – статья нагрузки;

$D_{nop}$  – водоизмещение порожнем;

$DW$  – дедвейт (полезная нагрузка).

Из условия (1) следует, что для обеспечения необходимых характеристик экономичности скоростное судно должно иметь наибольшее соотношение между его полезной нагрузкой и полной массой:

$$\eta = \frac{DW}{D} \rightarrow \max \quad (4)$$

Дедвейт скоростного судна может быть представлен как разность между полной массой судна и его водоизмещением порожнем (собственным весом судна), тогда:

$$\eta = \frac{D - D_{nop}}{D} \rightarrow \max \quad (6)$$

$$\eta = 1 - \frac{D_{nop}}{D} \rightarrow \max \quad (7)$$

$$\frac{D_{nop}}{D} \rightarrow \min \quad (8)$$

Способы повышения экономической эффективности скоростного судна при применении в его конструкции композитов рассмотрены в работе [2]. Важно отметить, что число марок двигателей, которые могут быть установлены на скоростные суда, ограничено. Поэтому основным резервом увеличения полезной нагрузки скоростного судна из композитов является правильное проектирование его корпуса, заключающееся в оптимальном сочетании массы корпуса, его общей и местной прочности.

Подсистема «Корпус» является доминирующей среди подсистем первого уровня декомпозиции судна, как системы. Масса корпуса, в состав которой входят массы собственно корпуса скоростного судна, входит в качестве слагаемого в уравнение нагрузки и может быть выражена, как:

$$D = \sum P_i = P_k + \sum P_{i-1} = q_k(LBH) + \sum P_{i-1} \quad (9)$$

где  $P_k$  - масса по статье нагрузки «Корпус»

$\sum P_{i-1}$  – масса по статьям нагрузки без статьи «Корпус»

$L, B, H$  – длина, ширина, высота корпуса;

$q_k$  – кубический модуль, представляющий собой отношение массы корпуса к его объему, определяемый с помощью анализа баз данных.

При анализе уравнений (3-9) при фиксированных размерах судна ( $L, B, H=const$ ) определяется условие обеспечения минимального водоизмещения порожнем (собственного веса судна). Минимизация водоизмещения порожнем скоростного судна обеспечивается за счет минимизации массы корпуса и надстройки при прочих равных других статьях нагрузки при необходимости обеспечения характеристик прочности и долговечности корпуса, то есть его жизненного цикла. Условие минимизации массы корпуса:

$$P_k \rightarrow \min \quad (10)$$

Масса по статье «Корпус» скоростного судна из композитов также может быть определена, как масса наружной обшивки, масса набора, масса блоков плавучести и сумма масс элементов обстройки и оборудования помещений интегрированных в конструкцию корпуса. Наибольший интерес представляют первые три слагаемые в приведенной формуле, так как сумма масс элементов обстройки и оборудования помещений, интегрированных в конструкцию корпуса, относительно невелика (она может составить, как правило, до 5-10% общей массы корпуса из композитов) и мало зависит от геометрических размеров судна. Масса корпуса из композитов:

$$P_{кор} = P_{обш} + P_{наб} + P_{БП} + \sum_k P_k \quad (11)$$

При дальнейшем расчете эта сумма достаточно корректно может быть учтена соответствующим коэффициентом пропорциональности. Масса блоков плавучести определяется по формуле:

$$P_{БП} = \rho_{БП} V_{БП} \quad (12)$$

где  $\rho_{БП}$  – плотность материала блоков плавучести;

$V_{БП}$  - объем блоков плавучести, определенный при обосновании непотопляемости.

Необходимо отметить, что блоки плавучести, интегрированные в конструкцию корпуса из композитов, мало влияют на обеспечение общей и местной прочности, поэтому на начальном этапе проектирования корпуса из композитов с высокой весовой эффективностью они из рассмотрения исключаются. Наибольшее влияние на обеспечение общей и местной прочности корпуса из композитов имеет обшивка, подкрепленная набором.

Представим часть массы корпуса в виде первых двух слагаемых, как:

$$P_{кор1} = P_{обш} + P_{наб} = \rho_{км} t_{cp} b [a_1 (\delta_k L_{заб} B_{заб} H)^{2/3} + \alpha_1 (L_{заб} - L_n)(B_{заб} - B_n) + a_2 (\delta_n L_n B_n H_n)^{2/3}] \quad (13)$$

где  $P_{кор1}$  – часть массы корпуса в виде массы обшивки и набора;

$L_{заб}, B_{заб}$  – габаритная длина и ширина корпуса;

$H$  – высота борта;

$L_n, B_n$  – габаритная длина и ширина надстройки;

$H_n$  – высота надстройки;

$\delta_k, \delta_n$  – коэффициенты полноты формы корпуса и надстройки;

$a_1, a_2$  – коэффициенты пропорциональности;

$\alpha_1$  – коэффициент полноты ватерлинии на уровне палубы;

$b$  – коэффициент, позволяющий учесть массу набора в массе композитного корпуса;

$t_{cp}$  – средняя толщина обшивки;

$\rho_{км}$  – плотность композита, определяемая по формуле:

$$\rho_{км} = \frac{k_{св} p_{св} + k_{арм} p_{арм}}{2} \quad (14)$$

где  $p_{св}$  – удельный вес связующего;

$k_{св}$  – коэффициент учитывающий содержание связующего в составе композиции;

$p_{арм}$  – удельный вес армирующих материалов;

$k_{арм}$  – коэффициент учитывающий содержание армирующих материалов в составе композиции;

Средняя толщина обшивки корпуса  $t_{cp}$  может быть определена из уравнения прочности. Изгибающий момент, действующий на корпус судна из композитов с учетом влияния волн и скорости судна, может быть определен, как:

$$M_{max} = \frac{DL}{k_1} \quad (15)$$

Где,  $M_{max}$  – изгибающий момент корпуса от общего изгиба;

$D$  – полное водоизмещение судна;

$L$  – расчетная длина корпуса;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий влияние волн и скорости судна.

Например, в соответствии с положениями [3] этот коэффициент может определяться как:

$$k_1 = (3 + 23,4e^{-1,1Fr_D}) \sqrt{\frac{2,5}{h_g}} \quad (16)$$

Где,  $Fr_D$  – число Фруда по водоизмещению;

$h_6$  – расчетная высота волны.

Уравнение прочности корпуса судна из композитов также имеет вид:

$$M_{\max} = k\sigma_{0KM}W \quad (17)$$

где  $M_{\max}$  - предельный изгибающий момент от общего изгиба судна в наиболее неблагоприятном случае эксплуатационной нагрузки;

$\sigma_{0KM}$  - предел прочности композита;

$k$  – коэффициент пропорциональности;

$W$  - момент сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса.

Момент сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса на миделе судна из композитов, в свою очередь, может быть представлен как:

$$W = \frac{\eta_k FH}{2} \quad (18)$$

где  $F$  – площадь наиболее опасного поперечного сечения эквивалентного бруса;

$\eta_k$  – коэффициент утилизации профиля эквивалентного бруса.

Приравняв выражения (15) и (17) с учетом (18) получим уравнение:

$$\frac{DL}{k_1} = \frac{k\sigma_{0KM}\eta_k FH}{2} \quad (19)$$

Корпус скоростного судна из композитов в целях расчета общей прочности может рассматриваться балка с непризматическим сечением. Из уравнения прочности при общем изгибе (19) может быть определено допустимое напряжение для композита корпуса скоростного судна:

$$\sigma_{0KM} = \frac{2DL}{kk_1\eta_k FH} \quad (20)$$

Момент сопротивления эквивалентного бруса без учета площади продольного набора, которая, как правило, невелика, на этом этапе проектного обоснования может быть представлен, как:

$$W = \eta_k (B_{заб} + H)t_{cp}H \quad (21)$$

где  $t_{cp}$  – средняя толщина обшивки.

Отсюда может быть выражена средняя толщина обшивки корпуса в сечении, где действует наибольший изгибающий момент:

$$t_{cp} = \frac{W}{\eta_k (B_{заб} + H)H} \quad (22)$$

С учетом уравнений (19) и (21) средняя толщина обшивки корпуса  $t_{cp}$  может быть определена как:

$$t_{cp} = \frac{DL}{k_1\eta_k (B_{заб} + H)H\sigma_{0KM}} \quad (23)$$

Полученное значение средней толщины корпуса скоростного (чаще всего глиссирующего) судна из композитов, определенное из условия обеспечения общей прочности также проверяется по условиям обеспечения местной прочности и при необходимости корректируется.

Особенности конструкции корпусов судов из композитов в целях расчета местной прочности позволяют применить положения теории тонких оболочек.

Поэтому можно рассматривать каждый элемент поверхности корпуса и верхних строений, как отдельную пластину или оболочку. При этом вся поверхность корпуса и верхних строений разбивается на семейство многослойных пластин и оболочек из композитов, для каждой из которых существует методика расчета. Это семейство пластин и оболочек позволяет с достаточно высокой степенью достоверности описать практически любую поверхность корпуса и надстройки судна из композитов. Такая разбивка, являясь достаточно условной, в тоже время позволяет упростить задачу в пределах достоверности.

При анализе уравнения (23) можно увидеть, что для скоростного судна из композитов при фиксированных геометрических размерах корпуса условие его весовой эффективности (13) трансформируется в условие минимизации толщины его обшивки:

$$t_{cp} \rightarrow \min \quad (24)$$

Высокие эксплуатационные характеристики судов из композитов могут обеспечить эффективные оптимальные судовые корпусные конструкции, имеющие минимальное ухудшение прочностных свойств в процессе эксплуатации. Под оптимальной конструкцией из композита понимается конструкция, работающая наилучшим образом при эксплуатационных нагрузках и удовлетворяющая заданному критерию оптимальности. Поэтому одним из центральных вопросов обеспечения жизненного цикла эффективной оптимальной подсистемы «Корпус» судна из композитов при проектировании является обеспечение ее характеристик прочности и долговечности в течение экономически обоснованного жизненного цикла.

Для проектирования и изготовления эффективных оптимальных судовых корпусных конструкций из композитов предпочтительны технологии формообразования, способные изменять параметры оптимизации конструкций в широких пределах, например, вакуумная инфузия или различные виды RTM-процессов.

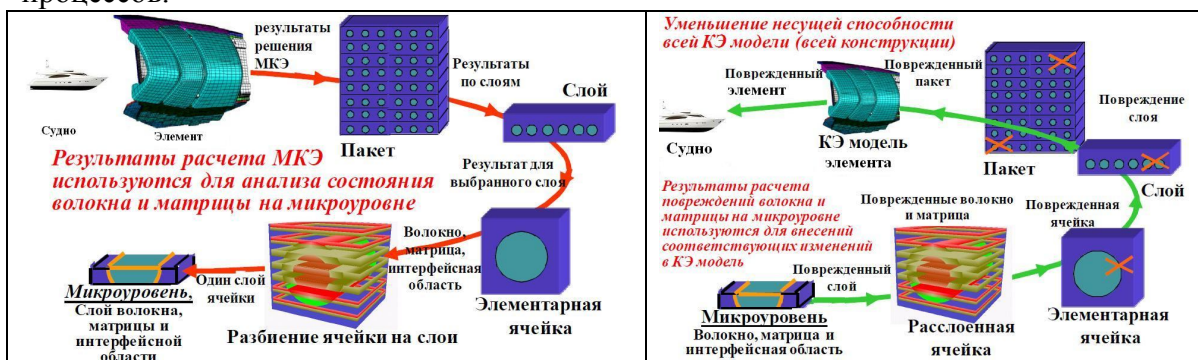


Рис. 1. Последовательность декомпозиции и оценки влияния внутреннего дефекта при определении прочностных свойств корпуса судна из композитов.

Fig. 1. The sequence of decomposition and assess the impact of the internal defect in the determination of the strength properties of the composite hull.

Известно, что использование различных технологий изготовления судовых корпусных конструкций из композита сопровождается появлением технологических дефектов типа расслоение и непрочлей, которые влекут за собой снижение

характеристик прочности. В дальнейшем под влиянием доминирующих факторов эксплуатации возможен рост внутренних дефектов типа расслоение. Это обстоятельство требует от проектанта выполнения при оценке прочности судового корпуса из композитов специального расчета, направленного на учет влияния внутреннего дефекта технологической и эксплуатационной природы на прочность элемента конструкции (рис. 1).

В процессе эксплуатации на корпус судна из композитов действуют различные эксплуатационные нагрузки. Природа, характер и продолжительность воздействия этих нагрузок на корпус судна из композитов целиком и полностью идентичны аналогичным характеристикам эксплуатационных нагрузок, действующим на корпуса судов, изготовленных из традиционных материалов. В то же время, эксплуатационное поведение элементов корпуса из композитов изучено недостаточно. В связи с этим при проектировании судовых конструкций из композитов проблемы обеспечения характеристик их прочности и долговечности решаются не вполне корректно.

В работах [4, 5] предложен подход, при котором для оценки и прогнозирования технического состояния корпусных конструкций промысловых судов, содержащих эксплуатационные дефекты, применена теория потоков. При этом установлена взаимосвязь потока внешних нагрузок с потоком повреждений корпусных конструкций на вероятностной основе в виде результирующей функции, связывающей параметры эксплуатационного дефекта в начальный и конечный момент времени, собственно, время и вероятность возникновения дефекта.

Данный подход позволяет прогнозировать возникновение и развитие эксплуатационного дефекта, определять время достижения каким-либо дефектом наперед заданного уровня, оценивать вероятность достижения каким-либо дефектом наперед заданного уровня, нормировать дефекты при ограничении времени и условий эксплуатации судна, накладывать ограничения на условия эксплуатации судна с целью обеспечения экономически обоснованного жизненного цикла с заданной вероятностью.

Разработка норм проектной годности судовой корпусной конструкции из композита, при условии существования в ней внутренних дефектов технологической и эксплуатационной природы, тесно переплетается с проблемой прогнозирования динамики их развития и связанного с этим снижения прочности конструкции и повышения вероятности разрушения.

Оценка изменения характеристик долговечности представляет собой сопоставление прочностных свойств целой и расслоившейся конструкции в начальный и конечный моменты эксплуатации, рассчитанных в соответствии с действующими нормами проектирования. Вопросы изменения характеристик долговечности тесно связаны с вопросами оценки технического состояния судовой корпусной конструкции из композита, а также методами определения степени утраты прочностных свойств и оценкой возможности разрушения судовой корпусной конструкции из композита в зоне развития дефекта типа расслоение технологической и эксплуатационной природы. Все эти вопросы рассматриваются в работах [6, 7].

Существует несколько точек зрения на проблему прогнозирования изменения прочности композитов. Широко распространенный традиционный путь прогнозирования и нормирования прочности корпусных конструкций,

базирующийся на эмпирических подходах и непосредственном увязывании расчетных коэффициентов запаса прочности с результатами целенаправленно поставленных экспериментов постепенно утрачивает свою эффективность, так как они не отражают реального воздействия всех факторов эксплуатации и, как следствие, не позволяют получать корректные решения.

Необходимо отметить, что специфика изменения характера и механизма динамического разрушения полимерных композитов в жидкостях, в том числе, связанного с изменением температуры, что характерно, например, для наружной обшивки корпуса глиссирующего судна, создает принципиальные затруднения в разработке методов ускоренных динамических испытаний, воспроизводящих реальные условия. Подробнее вопросы прогнозирования накопления внутренних дефектов технологической и эксплуатационной природы, а также возникновения условий, приводящих к разрушению судовой корпусной конструкции из композитов, рассмотрены в работе [8].

При практической эксплуатации судовые корпусные конструкции из композитов подвергаются действию самых различных нагрузок, меняющихся во времени. Поэтому применительно к конструкционным жестким композитам типа стеклопластика, не обладающим восстановительными свойствами, пригодную для практического применения основу дает кинетическая теория прочности в сочетании с гипотезой линейного суммирования повреждений в варианте Бейли.

Для произвольных процессов нагружения во времени при относительно простых напряженных состояниях критерий суммирования повреждений Бейли для времени разрушения  $t$  будет иметь вид:

$$\int_0^t \frac{dt}{t(\sigma)} = 1 \quad (25)$$

где  $t(\sigma)$  – долговечность при напряжении  $\sigma$ .

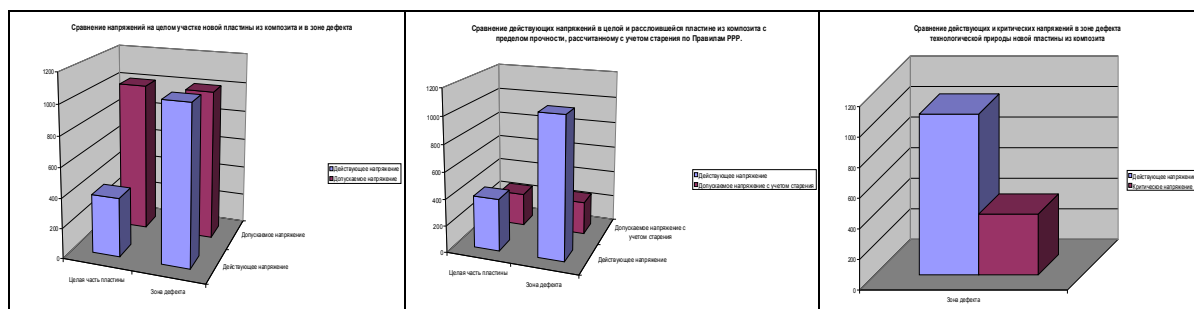


Рис. 2. Действующие и допускаемые напряжения в целой новой пластине из композита и в зоне дефекта (слева) в целой пластине из композита и в зоне дефекта с учетом старения по Правилам РРР (в центре) действующие и критические напряжения в новой пластине из композита (справа)

Fig. 2. Current and voltage permissible in a whole new plate of composite, of the defect (left) in the whole of the composite and the plate in the area of the defect based on aging Regulation RRR (center), and the critical operating voltage of the new composite plate (right)



Принципы возникновения внутренних дефектов типа расслоение, их форм и места расположения на корпусе, а также систематическое их обнаружение в больших количествах в определенных местах открывают путь к разработке количественных методов определения их взаимосвязи с режимами нагружения, связанными с характеристиками полной массы, мощности и скорости судна, продолжительностью и интенсивностью эксплуатации. Обработка полученных данных методами регрессионного анализа позволяет получить формализованные зависимости, позволяющие анализировать и прогнозировать изменение характеристик долговечности корпусов судов из композитов. Для корректной обработки данных и получения зависимостей в виде функций необходима группировка по судам одного проекта, имеющим различный ресурс использования в достаточно больших количествах [6, 8, 9].

На основании полученных данных произведена попытка проследить зависимость между накоплением в корпусе из композитов дефектов типа расслоение, энерговооруженностью и ресурсом использования судна. Методика учета концентрации дефектов эксплуатационного характера на корпусе судна из композитов разработана в соответствии с системой нормирования прочности, построенной на учете статистического и отчасти временного факторов (для переменных нагрузок). Расчет концентрации внутренних дефектов типа расслоение, в соответствии с критерием Бейли, выполнен для группы судов из композитов на основании базы данных судов, прошедших операцию дефектоскопии при освидетельствовании на предмет годности к плаванию в Московском филиале РРР в 2007-2010 годах. В качестве обобщающей характеристики принят интегральный ресурс использования, определяемый произведением энерговооруженности на время эксплуатации. При расчете определялась концентрация внутренних дефектов типа расслоение как отношение суммарной площади дефектов к общей площади поверхности обшивки в исследуемом районе на каждом из корпусов [10]. Полученные значения величины коэффициента концентрации аппроксимированы по линейному закону:

$$K = f(t) = 0,1531t + 241,4 \quad (26)$$

где  $K$  – коэффициент концентрации расслоений;

$t$  – ресурс использования корпуса.

Выполненный расчет подтверждает принципиальную возможность применения гипотезы линейного суммирования повреждений в варианте Бейли для анализа и прогнозирования изменения характеристик долговечности корпусов судов из композитов под действием эксплуатационных нагрузок в течение его жизненного цикла. Расчет также подтверждает существование взаимосвязи между эксплуатационными характеристиками судна из композитов в виде энерговооруженности и различных форм ресурса использования и концентрацией дефектов. На начальных этапах проектирования прогнозирование изменения характеристик прочности и долговечности корпуса судна из композитов может рассматриваться как прогноз роста концентрации дефектов, описываемой значениями полученной аппроксимирующей функции на жизненном цикле

Для получения более точных формализованных зависимостей, позволяющих анализировать и прогнозировать изменение характеристик долговечности корпусов судов из композитов по судам из композитов различных размеров и

энерговооруженности, требуется обработка данных методами регрессионного анализа по достаточно большому количеству судов из композитов каждого из проектов и близких лет выпуска.

Ниже приведен пример использования способа оценки изменения характеристик долговечности корпуса скоростного судна из композитов на его жизненном цикле. Для этого произведены расчеты напряжений, действующих в элементе судового корпуса в виде пластины днищевой обшивки, при наличии внутренних дефектов типа расслоение в начальный и конечный моменты жизненного цикла корпуса из композитов.

Расчеты произведены для глиссирующего судна «Аквалайн 210» проекта и постройки ГНПРКЦ «ЦСКБ «Прогресс» (г. Самара, Россия). Техническая документация, включающая сборочные чертежи корпуса этого судна, была передана производителем в Московский филиал РРР, где суда этого проекта находятся под техническим наблюдением.

Расчеты выполнены для внутренних дефектов типа расслоение технологической и эксплуатационной природы площадью  $440 \text{ мм}^2$ , расположенных в одном и том же месте на днищевом перекрытии, недалеко от скулы. Расчеты выполнены для трех случаев: рассматривалась пластина в новом корпусе, содержащая дефект типа расслоение указанного размера технологической природы. Во втором расчетном случае рассматривалась пластина, содержащая дефект площадью  $440 \text{ мм}^2$  эксплуатационной природы, из состарившегося композита в конце срока его службы (жизненного цикла судна), у которого изменившиеся механические характеристики рассчитывались по Правилам РРР [10]. В третьем случае оценивалась возможность разрушения композита новой пластины в районе дефекта технологической природы указанного размера. Разрушение считалось возможным в случае достижения действующим напряжением величины критического напряжения. В первых двух случаях для корректного определения величины действующих напряжений расчеты выполнялись одновременно и для целых участков пластин, расположенных рядом с дефектом. Расчет выполнен с использованием программы Microsoft Excel. Расчет произведен в единицах системы МКГСС, в связи с тем, что коэффициенты в уравнениях изгиба пластин и эмпирические коэффициенты в других формулах получены для физических величин, входящих в эти уравнения, имеющих эту размерность.

В результате расчетов установлено, что действующее напряжение в целой пластине нового корпуса меньше допускаемого напряжения примерно в два с половиной раза. В зоне расположения дефекта типа расслоение технологической природы действующее напряжение примерно равно допускаемому напряжению, что указывает на достаточно большие запасы прочности корпусных конструкций из композитов у отечественных скоростных судов (рис. 2 слева). Эти же величины, рассчитанные для корпуса из композитов в конце срока его службы (жизненного цикла судна) с учетом старения композита по Правилам РРР (рис. 2 в центре), показывают, что для целой пластины корпуса судна в конце срока эксплуатации условие прочности не выполняется, и необходимый запас прочности не обеспечен, так как действующее напряжение примерно в полтора раза превышает допускаемое напряжение. В связи с этим необходимы ограничения по скорости судна на гладкой воде и его эксплуатации на волнении. В районе расположения дефекта типа расслоение действующее напряжение в состарившемся корпусе примерно в четыре

раза превышает допускаемое напряжение. Расчет показывает (рис. 2 справа), что в районе расположения дефекта типа расслоение действующее напряжение в новом корпусе превышает величину критического напряжения, следовательно, в условиях движения судна в расчетном режиме, в условиях расчетного волнения будет продолжаться рост размеров дефекта. По критерию нераспространения дефекта в композите техническое состояние корпусной конструкции в этом случае может быть признано негодным.

Использование при проектировании корпуса скоростного судна из композитов по условию весовой эффективности данных о динамике развития эксплуатационных дефектов в корпусных конструкциях близкого прототипа, полученных методами неразрушающего контроля, позволяет достоверно учесть всю гамму ожидаемых эксплуатационных факторов. Это может позволить выдвинуть ряд новых теорий и критериев прочности судовых корпусных конструкций из композитов, основанных на концепции накопления повреждений в процессе эксплуатации. Кроме того, оно позволит прогнозировать изменение эксплуатационной прочности конструкций проектируемого судна в течение всего его жизненного цикла и, в конечном итоге, делать выводы о долговечности конструкции из композита в целом без существенного удорожания проектирования.

#### Список использованных литературных источников:

1. Францев М.Э. Проектное обоснование обеспечения характеристик экономичности и конкурентоспособности скоростного пассажирского судна. Сборник трудов конференции 9-е Прохоровские чтения, Нижний Новгород, 2013, стр. 94-98.
2. Францев М.Э. Проектное обоснование повышения полезной нагрузки амфибийного судна на воздушной подушке за счет применения в его конструкции композиционных материалов. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, № 1, 2015 стр. 197-202
3. ОСТ5.1068-75 «Корпуса и корпусные конструкции из стеклопластика. Расчеты прочности». ЦНИИТС, Л., 1975
4. Бураковский Е.П. Дмитровский В.А. Об одной задаче нормирования общей прочности корпусов судов, содержащих эксплуатационные дефекты, Сборник научных трудов Калининградского государственного технического университета, посвященный 300-летию Российского флота, Калининград, 1996, с. 251-262
5. Бураковский Е.П. Дмитровский В.А. Применение теории потоков при оценке и прогнозировании технического состояния корпусных конструкций, содержащих эксплуатационные дефекты, Сборник научных трудов Калининградского государственного технического университета, посвященный 300-летию Российского флота, Калининград, 1996, с. 263-278
6. Францев М.Э. Способ оценки технического состояния корпуса судна из композитов в процессе эксплуатации, Контроль. Диагностика, № 11, 2009. стр. 61-68
7. Францев М.Э. Определение степени утраты прочностных свойств и оценка возможности разрушения судовой корпусной конструкции из композита в

- зоне развития эксплуатационного дефекта типа расслоение. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти академика Ю.А. Шиманского, 2013, СПб, стр. 124-126
8. Францев М.Э. Проектная оценка эксплуатационных нагрузок и характеристик долговечности корпусов судов из композиционных материалов, Морской вестник № 4(28), 2008, стр. 93 – 98.
  9. Францев М.Э. Эксплуатационное поведение элементов корпуса глиссирующего судна из композиционных материалов в условиях воздействия гидродинамических нагрузок. Труды Государственного Крыловского Научного Центра, выпуск 75(359), СПб, 2013, стр. 192-200.
  10. Францев М.Э. Проектные рекомендации по определению наиболее нагруженных и уязвимых элементов корпуса судна из композиционных материалов, Конструкции из композиционных материалов, № 3, 2011, стр. 86-97
  11. Российский Речной Регистр. Правила, Том 2. М 2008 – 400 с.

Сведения об авторе:

- Францев Михаил Эрнстович
- Кандидат технических наук
- Инжиниринговая компания «Нептун-Судомонтаж», 141703, Московская область, г. Долгопрудный, п. Водники.
- Директор
- Старший эксперт Московского филиала Российского Речного Регистра (по совместительству)
- Проектирование и конструкция скоростных судов, в том числе, из композиционных материалов
- 70 научных работ
- 2 монографии
- 2 патента
- +79037173125, +79191011595, +74954544115
- [gepard629@yandex.ru](mailto:gepard629@yandex.ru)

|   |  |
|---|--|
| Фамилия   | Frantsev   |
| Имя   | Michail  |
| Отчество  |  |
| Место работы (полное и краткое) общепринятое название | JSC Neptun-Sudomontazh                                       |
| Должность   | Director   |
| Ученая степень  | PhD  |
| Ученое звание   |  |
| Контактные телефоны                                   | +79037173125   |
| E-mail  | <a href="mailto:gepard629@yandex.ru">gepard629@yandex.ru</a> |

