

Францев М. Э., к.т.н  
АО «Нептун-Судомонтаж»  
gepard629@yandex.ru



# Создание надстройки пассажирского судна на подводных крыльях. Проект по Правилам

Статья подготовлена по результатам выполнения прикладных научных исследований, проводимых Московским государственным техническим университетом им. Н. Э. Баумана по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0103 с Министерством образования и науки Российской Федерации. (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0103) в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы». Автор статьи руководит указанной работой.

Продукция, созданная как результат прикладного научного исследования, может быть успешно внедрена в качестве серийного изделия только в том случае, если она будет полностью удовлетворять требованиям действующего законодательства Российской Федерации в области технического регулирования. В частности на продукцию судостроения гражданского назначения распространяются требования нормативной базы отечественных классификационных обществ. В Российской Федерации существуют два классификационных общества, осуществляющих техническое наблюдение за проектированием и постройкой скоростных судов, в том числе пассажирских судов на подводных крыльях. Это Российский Речной Регистр и Российский Морской Регистр Судостроения. Требования этих обществ к судам на подводных крыльях и конструкциям из композитов сформированы в их нормативной базе [1–3].

В области транспорта современные экономические условия предъявляют требование обеспечения эффективности перевозок в сочетании с обеспечением экономически обоснованного жизненного цикла транспортного средства. Для расширения возможностей создания отечественных пассажирских судов на подводных крыльях (далее СПК), имеющих надстройки, изготовленные из композитов (рисунок 1), в настоящее время необходимо решить ряд проблем как в области совершенствования проектных характеристик судов этого типа и их оптимизации, так и в области улучшения структуры всего процесса проектирования. Необходима разработка способов проектного обоснования пассажирских СПК, учитывающих различные аспекты их последующей эксплуатации и обеспечивающих конкурентоспособность судов этого типа.

Критерии эффективности скоростного пассажирского судна связаны с эксплуатационной моделью его применения. Основой критерия выбора служат экономические показатели, определяющие доходную и расходную части эксплуатационных характеристик судна. Подробнее об этом можно прочитать в [4–5].

Центральной задачей настоящей работы является разработка способа проектирования надстройки из композитов пассажирского СПК по критерию экономической эффективности. Применительно к конструкциям из композитов — этот критерий трансформируется в требования обеспечения их весовой эффективности и совершенства форм.

Необходимо сформулировать основополагающие принципы создания судов и их крупных элементов из композитов, положенные в основу данной работы:

- Композиты не альтернативны традиционным судостроительным материалам, а являются самостоятельным судостроительным материалом, имеющим более чем полувековую историю использования.
- Композиты имеют безусловное превосходство над всеми традиционными судостроительными материалами в областях технологии изготовле-

ния, а также придания совершенства форм элементам судовой конструкции.

- Композиты успешно конкурируют с традиционными материалами в ряде областей, в частности с лёгкими сплавами в области веса и прочности конструкций, с судостроительными сталями в области таких физических свойств как диэлектрические и магнитные качества, а также с деревом в области технологичности.
- Суда из композитов являются самостоятельным и самым массовым типом судов в мире, поэтому для них больше, чем для любых других типов судов актуальны экономические аспекты проектирования, постройки и эксплуатации.
- Суда из композитов имеют специфические сочетания эксплуатационных качеств и, как следствие, присущие исключительно им особенности сочетаний главных размерений и других проектных характеристик, обусловленные особенностями конструкции судна.
- Суда из композитов в первую очередь создаются для тех областей использования, где обеспечивается конкурентное преимущество их эксплуатационных качеств над эксплуатационными качествами судов, изготовленных из традиционных судостроительных материалов.
- Суда и крупные элементы судов из композитов имеют специфическую конструкцию, обусловленную особенностями её двухкомпонентной и многослойной структуры, а также возможностью интегрирования в неё различных элементов судна, например: несущей конструкции, элементов непотопляемости, изоляции, обстройки и оборудования помещений.
- Суда и крупные элементы судов из композитов имеют специфические особенности обеспечения прочности корпусных конструкций, обусловленные особенностями их двухкомпонентной и многослойной структуры, в частности, на прочность конструкции из композитов существенно влияют дефекты технологической и эксплуатационной природы, возникающие в конструкции в процессе её изготовления и развивающиеся в теле конструкции в течение её эксплуатации, поэтому необходим учёт их влияния на характеристики прочности и долговечности для обеспечения экономически обоснованного жизненного цикла корпуса судна.
- Технология изготовления судовой корпусной конструкции из композитов в большой степени определяет её весовые характеристики, прочностные качества, а также наличие дефектов технологической природы, возникающих в теле конструкции и существенным образом влияющих на жизненный цикл судна.
- Факторы эксплуатации имеют специфическое влияние на элементы конструкции судов из композитов, обусловленное особенностями её двухкомпонентной и многослойной структуры, а также особенностями исходных материалов для создания композита.



**Рисунок 1.**  
Пассажирское СПК  
проекта 23180 «Валдай-45Р»  
(официальный внешний вид) [6]

- Элементы конструкции судов из композитов имеют специфическое эксплуатационное поведение, обусловленное особенностями их двухкомпонентной и многослойной структуры, особенностями исходных материалов для создания композита, а также особенностями возникновения и развития дефектов технологической и эксплуатационной природы в теле конструкции в процессе эксплуатации судна.
- Проектирование судна, а также его крупных элементов из композитов, представляет собой триединую задачу, включающую проектирование собственно конструкции судна или его элемента, проектирование технологии изготовления основных элементов конструкции, а также проектирование композиционного материала для конструкции на базе определённых исходных материалов и технологий.
- Проектирование конструкции судов из композитов, а также их крупных элементов, с учётом массового характера судов, должно быть краткосрочным и экономически эффективным, что обуславливает широкое использование при проектировании различных методов математического моделирования.
- Проектирование судна из композитов, а также его крупных элементов, в обязательном порядке должно учитывать особенности эксплуатационного поведения его конструкций, в частности, особенности возникновения и развития дефектов технологической и эксплуатационной природы, возникающих и развивающихся в теле конструкции, для обеспечения экономически приемлемого жизненного цикла судна.

Способ проектирования представляет собой взаимосвязанную последовательность принятия проектных решений, опирающихся на специально разработанные методы и технологии. Способ предназначен для проектирования крупных элементов из композитов в виде надстройки скоростного судна. Он увязан с общей схемой оптимизации проек-

ных характеристик судна. Способ позволяет разрабатывать надстройку судна в виде многослойной оболочки из композитов. Применение данного способа позволяет обеспечивать пассажирскому СПК, имеющему в конструкции крупный элемент из композитов в виде надстройки, необходимые эксплуатационные качества, включая обеспечение технико-экономических требований. Создание надстройки из композитов пассажирского СПК по критерию весовой эффективности обуславливает ограничение толщины его элементов в виде многослойных оболочек, и связанные с этим повышенные требования к их прочности и устойчивости.

Известно, что возникающие при создании и в процессе эксплуатации в конструкциях из композитов внутренние дефекты являются важным фактором, ухудшающим эксплуатационные качества конструкций. Возникновение и развитие этих дефектов в судовых корпусных конструкциях из композитов ведёт к снижению их прочностных качеств и способности противостоять неблагоприятным эксплуатационным воздействиям. Всё это сокращает срок жизненного цикла корпуса из композитов или другого элемента судна. Поэтому важной задачей в области создания судовых конструкций из композитов является учёт при проектировании их эксплуатационного поведения, обусловленного доминирующими факторами эксплуатации, определённые изменения характеристик прочности и долговечности конструкций в процессе их эксплуатации и, в конечном итоге, обеспечение их экономически обоснованного жизненного цикла. Подробнее принципы проектирования элементов корпуса из композитов скоростного судна по условиям его весовой эффективности и обеспечения жизненного цикла рассмотрены в [7].

В данной статье рассматривается процесс создания надстройки из композитов для пассажирского СПК в виде примера модернизации проекта 17091 «Полесье» (рисунок 2).

Проектирование надстройки из полимерных композиционных материалов для пассажирского



**Рисунок 2.**  
Пассажирское СПК  
проекта 17091 «Полесье» на ходу.

СПК как элемента судна, неразрывно связано с проектированием самого судна. Так как СПК является системой, состоящей из подсистем, то на первом уровне декомпозиции оно рассматривается как совокупность подсистем, выделенных по функциональному признаку. Подсистема «Корпус» является доминирующей по отношению ко всем остальным подсистемам судна. При этом надстройка из композитов, в свою очередь, входит в подсистему «Корпус» в качестве самостоятельной подсистемы.

Подсистема «Гидродинамический комплекс», включающая обводы погруженной части, собственно, корпуса с частью надводного борта, подводные крылья со стойками, а также движитель с опорой гребного вала, находящийся под корпусом и рулями, расположенными за кормовым крылом, при проектировании надстройки из композитов рассматривались в качестве готового модуля, применённого из проекта 17091 пассажирского СПК «Полесье».

Для детализации свойств надстройки должна быть выполнена декомпозиция подсистемы «Корпус» на отдельные подсистемы, одной из которых является подсистема «Надстройка СПК из композитов». На этом этапе декомпозиции определяются граничные условия подсистемы «Надстройка из композитов», а также определяются связи, которыми надстройка взаимодействует с подсистемой «Корпус». Таким образом, оптимизация конструкции надстройки из композитов пассажирского СПК напрямую связана с оптимизацией всего судна.

Оптимизация пассажирского СПК определяется критериями его экономической эффективности как транспортного средства, которая учитывает и понятие конкурентоспособности. Критерием экономической эффективности СПК является условие минимизации расхода топлива на перемещение 1 т дедвейта (полезной нагрузки) на 1 км пути в виде:

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

Из условия (1) для пассажирского СПК вытекает

условие минимизации расхода топлива на перемещение 1 пассажира на 1 км пути в виде:

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

где:  $D$  — полная масса;  
 $N$  — мощность главных двигателей;  
 $DW$  — дедвейт (полезная нагрузка);  
 $q$  — удельный расход топлива двигателей на номинальном режиме;  
 $v$  — эксплуатационная скорость;  
 $n$  — пассажироместность, чел.

Условия (1) и (2) определяют условия минимизации мощности главных двигателей  $N$ . Однако размерный ряд двигателей, пригодных для использования пассажирских СПК, как правило, ограничен. Поэтому наиболее широкие возможности по повышению эффективности эксплуатации, в том числе характеристик экономичности судов этого типа, связаны с повышением их коэффициента утилизации по полезной нагрузке  $\eta$  при фиксированных значениях скорости, определяемых особенностями гидродинамического комплекса судна. Максимум коэффициента утилизации по полезной нагрузке  $\eta$  пассажирского СПК определяет максимум его пассажироместности  $n$ .

Для обеспечения необходимых характеристик экономичности пассажирское СПК должно иметь наибольшее соотношение между его полезной нагрузкой и полной массой:

$$\eta = \frac{DW}{D} \rightarrow \max \quad (3)$$

При анализе уравнений (1–3) при фиксированных размерах судна ( $L, B, H = \text{const}$ ), обусловленных особенностями гидродинамического комплекса, определяется условие обеспечения минимального водоизмещения порожнем (собственного веса судна). Минимизация водоизмещения порожнем пасса-



**Рисунок 3.**  
Пассажиры  
на тентовой палубе  
СПК проекта 17091 «Полесье».

жирского СПК обеспечивается за счёт обеспечения минимизации массы корпуса, в состав которого входит надстройка, (при прочих равных других статьях весовой нагрузки) при необходимости обеспечения характеристик его прочности. Условие минимизации массы корпуса может быть представлено как:

$$P_k \rightarrow \max \quad (4)$$

Надстройка СПК из композитов представляет собой многослойную оболочку. Для любого скоростного судна, в том числе и для пассажирского СПК, имеющего надстройку из композитов, при фиксированных геометрических размерах корпуса и с учётом его конструктивных особенностей, условие минимизации массы корпуса, а также его отдельного элемента (4) трансформируется в условие минимизации толщины обшивки корпуса или элемента:

$$t_{cp} \rightarrow \min \quad (5)$$

Толщины обшивки элементов нижней части корпуса, вступающие в контакт с водной поверхностью, определяются комплексом гидростатических и гидродинамических нагрузок, действующих на эти элементы, и уменьшены быть не могут. В то же время существует резерв уменьшения массы корпуса СПК за счёт применения надстройки из композитов, имеющей минимально допустимые толщины, определяющиеся характеристиками прочности и долговечности надстройки.

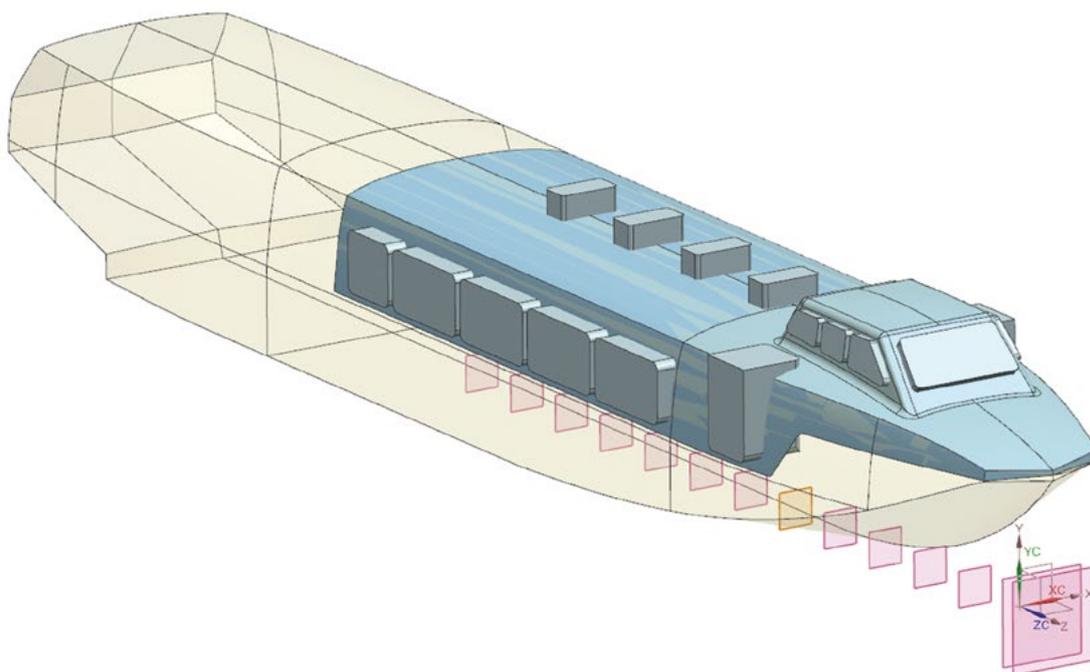
При разработке формы надстройки из композитов пассажирского СПК и места её расположения на корпусе необходимо рассмотреть особенности формообразования пассажирского СПК проекта 17091 «Полесье», а также некоторые особенности его эксплуатации.

Формообразование надводной части корпуса и

надстройки пассажирского СПК проекта 17091 «Полесье» характеризуется динамизмом внешнего облика в сочетании с некоторым упрощением формы, обусловленными технологическими особенностями обработки лёгких сплавов, применённых для надводной части корпуса и надстройки. Кроме того, компоновка пассажирского СПК проекта 17091 «Полесье» предусматривает наличие площадки в кормовой части тентовой палубы, предназначенной для посадки-высадки пассажиров на высокие дебаркадеры. Наличие площадки для нахождения пассажиров на тентовой палубе (рисунок 3) обуславливает повышенную толщину настила палубы (крыши надстройки) в этом районе, а также мест для крепления стоек леерного ограждения. Эти эксплуатационные особенности пассажирского СПК проекта 17091 «Полесье» определяют возникновение в этом районе сосредоточенных знакопеременных нагрузок.

Кроме того, в кормовой части пассажирского СПК проекта 17091 «Полесье» расположено машинное отделение. В этом районе на надстройке расположены воздухозаборники, выхлопные трубы главного двигателя и другие устройства. Район машинного отделения характеризуется повышенными шумами, вибрациями и другими динамическими нагрузками, излучением тепловой энергии от главного двигателя, его выхлопных трубопроводов, а также других агрегатов машинного отделения. Воздействие этих эксплуатационных факторов на композиционные материалы изучено недостаточно. Кроме того, прохождение выхлопных трубопроводов двигателей внутреннего сгорания через конструкции из композиционных материалов обуславливает повышенную пожарную опасность этих узлов.

При рассмотрении архитектурно-компоновочных особенностей пассажирского СПК проекта 23180 «Валдай-45Р», являющегося единственным



**Рисунок 4.** Результат декомпозиции теоретического контура надстройки.

перспективным проектом пассажирского СПК этого назначения, класса и размерности, можно увидеть, что основные архитектурно-компоновочные особенности пассажирского СПК проекта 17091 «Полесье» в данном проекте полностью сохранены. Формы носовой и верхней части надстройки пассажирского СПК проекта 23180 «Валдай-45Р» характеризуются большей пластичностью. Остекление приобретает лекальные формы и требует применения технологий вклейки при установке в надстройку СПК. Компоновка носовой части надстройки, включая дверной вырез пассажирского СПК проекта 23180 «Валдай-45Р», соответствует компоновке экспортного исполнения пассажирского СПК проекта 17091 «Полесье», выпускавшегося Гомельским судостроительным заводом (Республика Беларусь) во второй половине 1990-х годов двадцатого века.

Форма надстройки из композитов для СПК «Полесье» характеризуется динамизмом облика, полностью совпадающим с архитектурно-компоновочными принципами, реализованными в проекте 23180 «Валдай-45Р». При этом целесообразно выполнение надстройки из композитов до кормовой переборки пассажирского салона, то есть там, где отсутствует воздействие на композит местных знакопеременных и динамических нагрузок, а также эксплуатационных факторов, создаваемых механизмами машинного отделения. Кормовую часть надстройки СПК целесообразно выполнять из лёгких сплавов по традиционным технологиям.

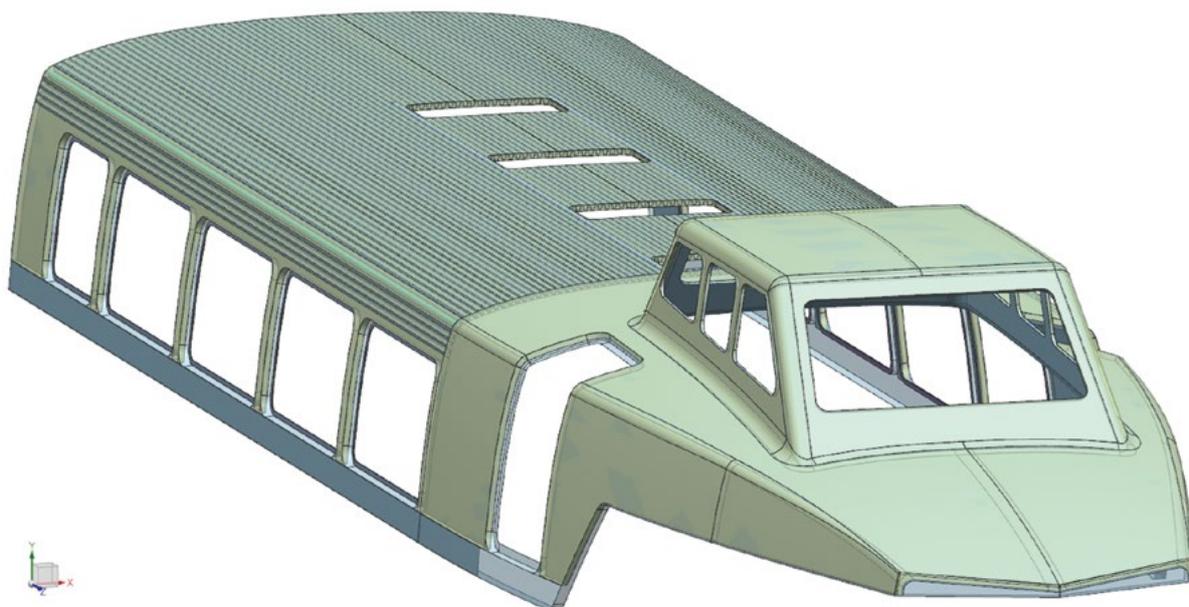
При этом оказалось целесообразно несколько «успокоить» форму надстройки без ущерба для характеристик аэродинамики, обитаемости пассажирского СПК, для облегчения надстройки, а также для одновременного упрощения и удешевления оснастки первого и второго порядка для её изготовления. При этом прочностные характеристики надстройки оказались полностью соответствующими эксплуа-

ционным требованиям. Подробнее вопросы проектного обоснования при создании надстройки из композитов пассажирского СПК рассмотрены в [8].

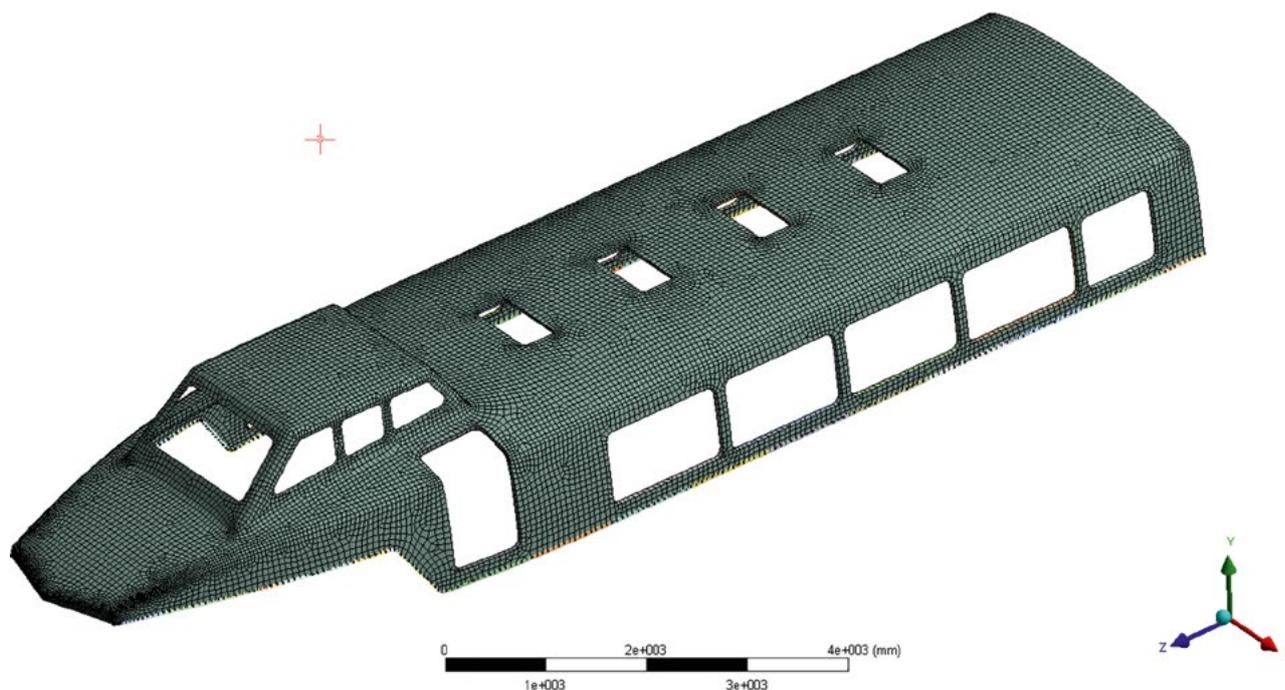
Надстройка, связанная (по сравнению с корпусом) меньшими функциональными зависимостями, является визуальным объёмом, существенно более насыщенным элементами экстерьера. С точки зрения художественной выразительности, надстройки, как правило, доминируют в форме судна. Формообразование надстроек в большой степени определяет их остекление, которое является мощнейшим композиционным центром, в ряде случаев подчиняющим себе восприятие всего объёма судна. Промежуточный результат декомпозиции теоретического контура надстройки приведен на рисунке 4.

При проектировании надстройки СПК в виде многослойной оболочки из композитов необходимо ясно представлять картину действующих на неё нагрузок. Это позволяет обеспечить необходимую прочность конструкции при её оптимальных массовых параметрах. Различные элементы надстройки СПК в эксплуатации находятся в различных условиях, с точки зрения действующих на них внешних усилий. Действие определённых усилий может распространяться как сразу на группу элементов надстройки СПК, так и на отдельные её фрагменты.

При проведении оценочных расчётов на этапе декомпозиции подсистемы «Корпус» при разработке конструктивно-силовой схемы и схемы взаимного расположения элементов надстройки СПК из композитов, удобно не производить поэлементного расчёта массы конструкции, а пользоваться приближёнными удельными значениями, приведёнными к единице площади поверхности или объёма конструкции. Поэтому необходимо рассчитывать массу надстройки СПК и механические характеристики её отдельных элементов в укрупнённом виде на основе уравнений прочности.



**Рисунок 5.** Надстройка СПК из композитов (исходная геометрия).



**Рисунок 6.** Разбиение конечно-элементной сетки по надстройке СПК из композитов.

Основой для декомпозиции является уравнение прочности СПК. При этом допускаемые напряжения в композите, а также его средняя толщина в наиболее нагруженных сечениях, определяются из условия совместной деформации при общем изгибе эквивалентного бруса. Эквивалентный брус состоит из нижней части, собственно, корпуса СПК, изготовленного из лёгких сплавов, и верхней части (надстройки СПК), изготовленной из композитов.

В качестве основных технологий изготовления надстройки пассажирского СПК рассматривались контактное формование и вакуумная инфузия. Предпочтение отдано контактному формованию, как наиболее гибкой технологии, реализуемой на стадии НИОКР.

В качестве основных матричных и армирующих материалов (с учётом необходимости импортозамещения) выбраны стеклоткань, стеклоткань и полиэфирная смола отечественного производства. В качестве вспененного материала среднего слоя выбран импортный поливинилхлоридный пенопласт, имеющий пониженную плотность в связи с отсутствием отечественного аналога. Материалы на основе углеродного волокна были исключены из финального отбора по причине излишне высокой стоимости.

В качестве исходных документов при разработке конструктивно-силовой схемы и схемы взаимного расположения элементов надстройки СПК из композитов используются теоретический чертёж корпуса

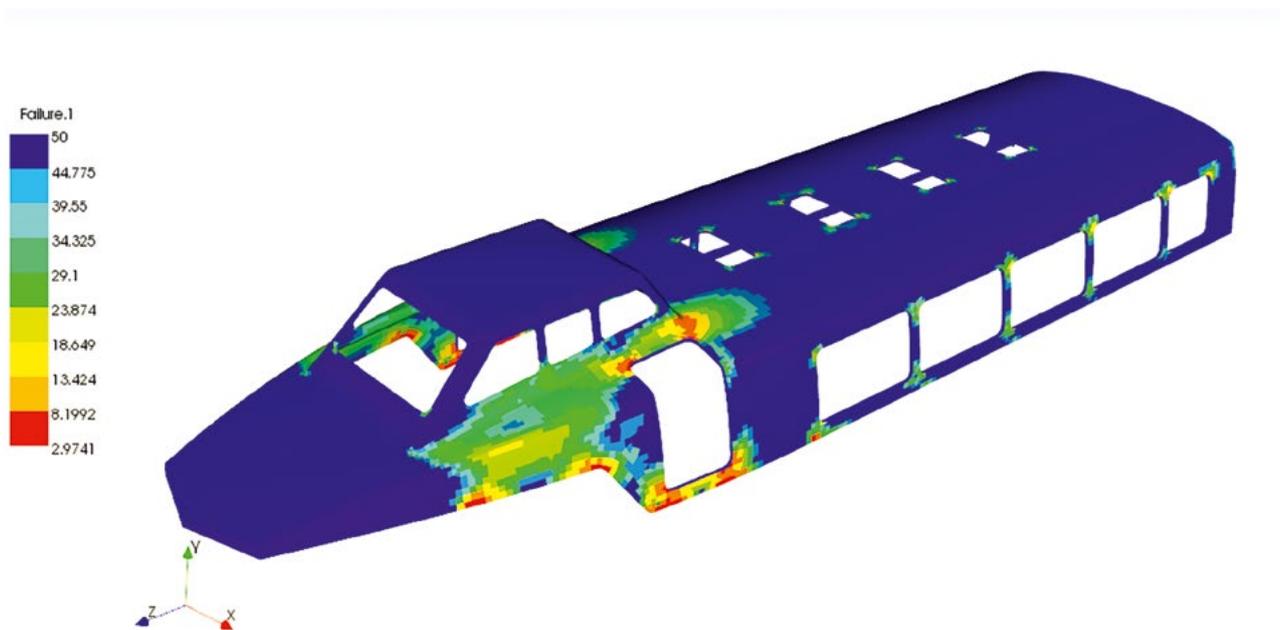


Рисунок 7. Нагрузки от действия изгибающего момента в надстройке СПК из композитов.

и надстройки СПК, чертёж общего расположения СПК, а также конструктивный чертёж корпуса СПК.

Разработке прочностной модели надстройки пассажирского СПК из композитов предшествует разработка численными методами 3D-модели её конструкции с использованием CAD/CAE технологий, позволяющих получить компьютерную модель, пригодную для передачи в программы конечно-элементного анализа в качестве исходной геометрии. Разработка компьютерной модели надстройки СПК проводится в два этапа.

В первую очередь разрабатывается электронная модель теоретического чертежа корпуса СПК с надстройкой из композитов. После предварительной оцифровки исходных данных в двумерном редакторе, полученный промежуточный файл передается в основную среду разработки. После завершения всех процессов моделирования элементов надстройки СПК, включая закладные детали, полученная компьютерная модель пригодна для передачи в программы конечно-элементного анализа в качестве исходной геометрии (рисунок 5). Создание рабочего проекта производится в среде моделирования ANSYS Workbench. Задание свойств композита для монослоя производится путём занесения в установленную форму характеристик материалов. Следующим шагом является указание поверхностей для построения конечно-элементной сетки (рисунок 6).

После разбиения надстройки на конечные элементы по поверхностям производится задание граничных условий для надстройки пассажирского СПК. При этом запрещаются перемещения в стенке в местах отверстий по всем осям, запрещаются углы поворота (заделка). Следующим этапом является приложение к надстройке нагрузок, определённых при расчёте общего изгиба корпуса СПК в различных эксплуатационных случаях, а также местных нагрузок. Вычисленные значения пере-

резающей силы и изгибающего момента, а также расчётных давлений, прикладываются к конечно-элементной модели для проведения расчёта. Отдельным этапом является расчёт устойчивости элементов надстройки СПК из композитов. Для этого готовится отдельная модель. После этого производится отправка моделей в решатель. Подробнее вопросы обеспечения прочности надстройки из композитов пассажирского СПК рассмотрены в [9].

При анализе результатов произведённых расчётов можно видеть, что прочность надстройки СПК из композитов обеспечена во всех расчётных случаях (рисунок 7). Распределение внутренних усилий, действующих в надстройке, имеет характер, описанный в специализированной литературе, что свидетельствует о корректном определении внешних нагрузок.

В рамках настоящего прикладного научного исследования произведено изготовление опытного образца изделия — надстройки судна на подводных крыльях из композитов в единичном экземпляре (рисунок 8). Поэтому оправданно принят метод контактного формования в открытой оснастке. В данных обстоятельствах этот метод является самым простым, давно отработанным и требующим наименьших капиталовложений. Для изготовления серийных изделий целесообразно использование метода вакуумной инфузии.

После изготовления опытного образца надстройки из композитов, 100% его поверхности снаружи и изнутри были исследованы методами неразрушающего контроля в соответствии с требованиями [10]. Качество изготовления опытного образца соответствует требованиям технических условий и нормативных документов. Составлена карта внутренних дефектов типа расслоение технологической природы (непроклей), позволяющая в дальнейшем следить за их развитием в процессе эксплуатации.

Московским государственным техническим уни-



**Рисунок 8.**  
Опытный образец надстройки СПК из композитов.

верситетом им. Н. Э. Баумана получен патент на полезную модель [11].

Выполненные расчёты показывают, что при модернизации проекта СПК 17091 «Полесье» надстройкой из полимерных композитов в соответствии с изложенными выше принципами, его пассажировместимость может быть увеличена с 51 человека до 60 человек. Модернизированный проект превосходит по характеристикам экономичности на 33% проект 23180 пассажирского СПК «Валдай-45Р», имеющий пассажировместимость 45 человек, при одинаковой мощности главного двигателя. Это преимущество обеспечено за счёт проектирования надстройки из композитов по принципам весовой эффективности.

Изложенный выше процесс создания надстройки из композитов для пассажирского СПК полностью соответствует требованиям Правил обоих классификационных обществ. **КМ**

### Литература:

1. Российский Речной Регистр. Правила классификации и постройки судов, том 2, М, 2016
2. Российский Морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов, Том 2, часть XVI, СПб, 2016
3. Российский Морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов НД № 2-020101-075, СПб, 2013
4. Францев М.Э. Новые скоростные пассажирские суда для рек Сибири и Дальнего Востока. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока 2015, № 3, стр. 108-113
5. Францев М. Э. Чуднов И. В. Новый облик судов на подводных крыльях для рек Сибири и Дальнего Востока. Судостроение, № 2, 2014, стр. 18–22
6. [www.vympel-rybinsk.ru/valday-45r-proekt-23180.html](http://www.vympel-rybinsk.ru/valday-45r-proekt-23180.html)
7. Францев М. Э. Принципы проектирования корпуса скоростного судна из композитов по условиям его весовой эффективности и обеспечения жизненного цикла. Известия Калининградского государственного технического университета, 2016. № 41 стр. 196-208
8. Францев М. Э. Проектные обоснования создания надстройки из композитов для пассажирского судна на подводных крыльях с использованием способа параметрического проектирования. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева, № 1, 2016, стр. 211-221
9. Францев М. Э., Зайцев О. В., Золотаренко И. Д. Модель проектного обеспечения прочности надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях с использованием численных методов. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева, № 3, 2016, стр. 160–168
10. ОСТ5.9102-87 «Стеклопластики конструкционные для судостроения. Методы неразрушающего контроля», Л, ЦНИИТС, 1987
11. Францев М. Э., Симбирцев А. Д., Нелюб В. А., Буянов И. А., Чуднов И. В., Бородулин А. С. Пассажирское судно на подводных крыльях, имеющее надстройку из композиционных материалов. Патент на полезную модель № 148323