

нены при рассмотрении нелинейной теории качки при движении судно на не регулярном волнении.

#### Список литературы:

- [1] Благовещенский С.Н. Справочник по статике и динамике корабля. В двух томах. Изд. 2-е перераб. и доп. Том 2. Динамика (качка) корабля. // С.Н. Благовещенский, А.Н. Холодилин / Л. Судостроение – 1975. – 176 с.
- [2] Сторожев Н.Ф. Судовые сцепные устройства. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1978. – 272 с.
- [3] Корректировка требований РРР к сцепным устройствам толкаемых составов внутреннего плавания (разделы 5.7, 5.8 ч III Устройства). Научно-технический отчёт. Н. Новгород – 2000 г. – 135 с.
- [4] Преснов С.В. Метод определения усилий в счалах толкаемых составов смешанного (река-море) плавания / С.В. Преснов. М.: ООО ИПК «Корабел». – 2006. – 89 с.
- [5] Porter R.W. Added-mass, damping and wave-ratio coefficient for heaving ships – line cylinders // Journal of ship research. – 1966. – vol 10, no 4. – p. 223–241.
- [6] Tasai F. On the Damping Force and Added Mass of Ships Heaving and Pitching. // Journal Society of Naval Architects, Japan. – 1959. – No 105. – p. 47–56.
- [7] Tasai F. The «state of the art» of calculations for lateral motions // Report of Seakeeping Committee. Proceedings, vol. 2. 13 ITTC, Berlin, Hamburg. – 1972. – p. 918–942.
- [8] Frand W. The heave damping coefficients of bulbous cylinders, partially immersed in deep water // Journal of Ship Research, vol. 11, No 3, September. – 1967. – p. 151–153.

## CALCULATION AND INVESTIGATION OF THE FORCES ARISING IN THE COUPLER OF THE PUSHED CONVOY DURING A WAVE RUN

*E.P. Ronnov, S.V. Presnov, U.A. Kochnev*

Key words: *pushed convoy, automatic coupler, regular pitching, differential rolling equations.*

*The article contains the formulation of the problem and a mathematical model for determining the forces in the coupler of the pushed convoy. The results of test calculations are presented and the analysis of the obtained values is carried out.*

Статья поступила в редакцию 09.04.2018 г.

УДК 629.12.001

*М.Э. Францев, кандидат техн. наук, АО «Нептун-Судомонтаж»  
141703, г. Долгопрудный, ул. Набережная, 18*

## ПРОЕКТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА СРЕДНЕГО СЛОЯ НАДСТРОЙКИ ИЗ КОМПОЗИТОВ ПАССАЖИРСКОГО СУДНА НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ

Ключевые слова: *пассажирское судно на подводных крыльях, надстройка из композитов, легкий средний слой*

*В статье описано проектное обоснование выбора материалов nidaplast и divinycell H в качестве материала легкого среднего слоя надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях на базе исследования опытных образцов элементов надстройки, изготовленных с использованием этих материалов. Было выполнено сравнительное исследование механических характеристик обоих материалов. Были произведены расчеты массы надстройки с использованием каждого из материалов. Прогнозирование характеристик долговечности сэндвича на базе этих материалов проводилось с использованием методов неразрушающего контроля. В материале nidaplast были обнаружены обширные зоны расслоений. Сделан выбор в пользу материала divinycell H.*

#### Введение

Для обеспечения необходимых характеристик экономичности пассажирское судно на подводных крыльях (далее СПК) должно иметь наилучшее соотношение между его полезной нагрузкой и собственным весом. Наиболее предпочтительным для СПК является сочетание легких сплавов для конструкции собственно корпуса и композиционных материалов для конструкции надстройки (рубки). Использование для изготовления надстройки пассажирского СПК полимерных композитов позволяет обеспечить аэродинамическое совершенство формы надводной части судна в сочетании с необходимой экономией веса конструкции. При этом проектирование судовых корпусных конструкций из композитов при отсутствии нормативных требований классификационных обществ только на основе эксплуатационных нагрузок позволяет существенно снизить массу таких конструкций [1, 2, 11].

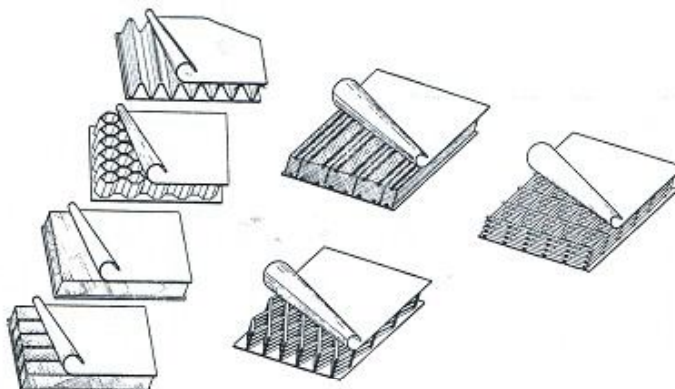


Рис. 1. Элементы трехслойных конструкций с различными видами каркаса среднего слоя

Расчеты показывают, что применение новых композиционных материалов для судовой корпусной конструкции теоретически может обеспечить снижение ее веса как минимум на 30% по отношению к аналогу из легких сплавов, с одновременным снижением расходов жизненного цикла как минимум на 25%. Это может повлечь за собой снижение срока окупаемости затрат на строительство судна до 5–8 лет [1, 2, 11].



Рис. 2. Сотовый наполнитель nidaplast. Внешний вид

Надстройка пассажирского СПК представляет собой объемно прочную многослойную оболочку из композитов. Создание надстройки из композитов является триединой задачей, включающей проектирование собственно конструкции надстройки, проектирование технологии изготовления основных элементов конструкции, а также проектирование композиционного материала на базе определенных исходных материалов и технологий.

В настоящее время широкое применение при изготовлении судовых корпусных конструкций из композитов нашли трехслойные и многослойные конструкции с легковесным наполнителем в середине. Трехслойные конструкции могут изготавливаться из полимерных композиционных материалов, которые могут использоваться как для несущих слоев, так и для наполнителя, а их соединение друг с другом обеспечивается склеиванием.

Трехслойные и многослойные конструкции заняли в судостроении достойное место благодаря присущей им высокой весовой эффективности, прочности, жесткости, а также хорошим тепло- и звукоизолирующим свойствам. По существу, многослойные конструкции из композитов являются многофункциональными. Трехслойные конструкции благодаря отсутствию или сокращению элементов набора позволяют более рационально использовать внутренние объемы помещений, прокладывать электротрассы и некоторые трубопроводы в самом наполнителе, облегчить поддержание чистоты в помещениях. Благодаря отсутствию концентраторов напряжений и исключительно возможности появления усталостных трещин многослойные конструкции имеют повышенную надежность.

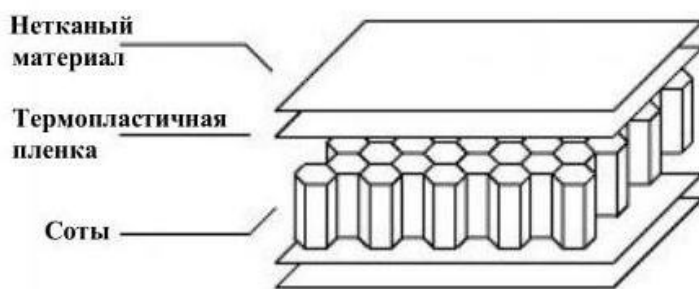


Рис. 3. Конструкция сотового наполнителя nidaplast

Трехслойные и многослойные конструкции применяются, в первую очередь, для снижения массы крупногабаритных элементов судовых корпусных конструкций и повышения их жесткости. По сравнению с традиционными однослойными элемента-

ми корпусной конструкции, трехслойная конструкция обладает повышенной жесткостью и прочностью, что позволяет уменьшить толщину оболочек, панелей и число ребер жесткости, что сопровождается существенным снижением массы конструкции.

Композит надстройки состоит из армирующих материалов, связующего, материала легкого среднего слоя, материалов жесткого на растяжение среднего слоя в местах подкреплений и усилений, а также различных клеевых составов. При этом используются разнообразные виды трехслойных заполнителей, надежность работы которых в составе конструкций из композитов подтверждена опытом успешной эксплуатации изготовленных с их применением конструкций [3–6].

Трехслойные конструкции состоят из двух прочных облицовочных пластин, заполнителя (легкой жесткой сердцевины) и двух адгезионных слоев, связывающих облицовочные пластины с заполнителем. Назначение заполнителя – обеспечивать совместную работу и устойчивость несущих слоев, а также сохранять заданное расстояние между ними. Основные функции заполнителя заключаются в обеспечении устойчивости несущих поверхностей и передаче сдвиговых нагрузок по толщине композита. Для успешного выполнения этих функций заполнитель должен быть легким и жестким. Совместная работа слоев обеспечивается за счет их соединения с заполнителем и передачи последним усилий с одного слоя на другой. Устойчивость слоев обеспечивается, так как заполнитель создает для них практически непрерывную опору и обеспечивает необходимое расстояние между слоями, которое сохраняется за счет достаточной жесткости заполнителя [3–6].



Рис. 4. Вспененный заполнитель divinycell H. Внешний вид

#### *Постановка задачи*

По существу, комбинация двух слоев прочного материала, между которыми помещен легкий малонагруженный заполнитель, представляет собой отдельный тип композита, к совместимости компонентов которого предъявляются особо жесткие требования. Решающее влияние на прочность и надежность трехслойных конструкций оказывает качество склеивания несущих слоев с заполнителем, которое, в свою очередь, зависит от качества подготовки склеиваемых поверхностей, качества образующейся клеевой прослойки и соблюдения режимов склеивания [3–6].

Не всегда удастся обеспечить хорошую связь между несущими слоями и заполнителем из-за отсутствия клеев с необходимыми свойствами, недостаточно тщательного соблюдения технологического процесса склеивания, а также возникновения на границах раздела слоев многоцикловых знакопеременных касательных напряжений тепло-

вой природы. Кроме того, вследствие сравнительно малой толщины слоев более вероятны их повреждения в процессе эксплуатации и, связанная с этим фильтрация воды.

В обычной трехслойной конструкции ее механические характеристики определяются усилиями отрыва среднего слоя от наружных слоев. В конечном итоге, прочность трехслойной панели определяется способностью клеевого соединения противостоять напряжениям, возникающим при нагружении конструкции [3–6].

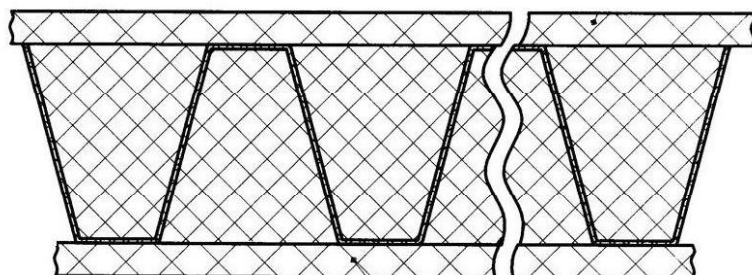


Рис. 5. Схема конструкции элемента надстройки с легким армированным средним слоем на базе заполнителя divinycell H

Однако, как было сказано выше, кроме напряжений от расчетных нагрузок в клеевом соединении судовой надстройки возникают напряжения от температурных деформаций в ее конструктивных элементах. Известно, что коэффициенты температурного расширения у материалов, образующих внешние слои, и материала заполнителя среднего слоя различны. Перепад температур на надстройке судна, эксплуатирующегося в средней полосе России может достигать 80–90°C, (зима до – 40°C, лето + 40°C). А с учетом прогрева поверхностей надстройки от солнечной радиации эта величина может быть еще больше (110–120°C). При этом в клеевом соединении между элементами трехслойной конструкции, имеющими различные температурные деформации, могут развиваться достаточно большие касательные напряжения на границе слоев, имеющие знакопеременный характер, в связи с суточными колебаниями температур.



Рис. 6. Элемент конструкции надстройки с легким армированным средним слоем на базе заполнителя pidaplast

Большое количество циклов изменения напряжений ведут к разрушению клеевого соединения в процессе срока службы конструкции и возникновению внутреннего дефекта типа расслоение. Нарушение конструктивной целостности трехслойной конструкции в районе внутреннего дефекта типа расслоение резко снижает ее механические качества и характеристики долговечности [7–9].



Рис. 7. Элемент конструкции надстройки с легким армированным средним слоем на базе заполнителя divinycell H

Уменьшение срока службы трехслойной конструкции при ее расслоении, кроме всего, связано с возникновением очага коррозии в месте отрыва среднего слоя из-за заполнения этого зазора конденсатом и парами воды. В конструкциях из неметаллических полимерных композитов в таких местах интенсивно развивается осмос под воздействием кислот, получающихся из органических соединений выделяемых полимерами и воды [7–9].

Своевременное обнаружение места расслоения не всегда позволяет полноценно решить проблему, ведь сэндвич мало ремонтпригоден. Зачастую при ремонте речь может идти о частичной реконструкции трехслойной конструкции с полной или частичной заменой двух слоев сэндвича из трех. Поэтому при проектировании многослойной конструкции из композита в настоящее время проводятся мероприятия по полному или частичному формированию каркаса среднего слоя из материала, аналогичного материалу внешних слоев, а средний слой при этом секционируется. Дополнительные клеящие соединения по периметру ячейки сэндвича позволяют увеличить прочность всей конструкции. Каркас среднего слоя служит препятствием для развития температурных деформаций, ведущих к расслоению конструкции. Поэтому секционирование каркасом позволяет минимизировать относительные температурные деформации каркаса и полимера, так как связи имеют почти такую же деформацию, как и пластины внешних слоев.

Известно, что клеящие соединения лучше воспринимают нормальные напряжения, чем касательные, поэтому стойкость клеящих соединений со стенками связей по периметру ячейки у полимера выше, чем стойкость клеящего соединения с пластиной внешней оболочки. Некоторый излишний вес такой конструкции по отношению к классической трехслойной конструкции компенсируется ее долговечностью. Каркас среднего слоя улучшает совместность работы обшивок, тем самым, снижая деформативность конструкции, поэтому многослойные оболочки с каркасом среднего слоя обладают повышенной жесткостью и надежностью.

Применяемые в настоящее время трехслойные судовые конструкции из композитов по роду заполнителя можно классифицировать следующим образом: со сплошным заполнителем из пенопласта, с сотовым заполнителем, с заполнителем в виде коробчатых панелей из полимерных композитов, а также в виде комбинированных панелей, заполненных пенопластом (рис. 1). Несущие слои по своей толщине могут быть как симметричными, так и несимметричными относительно срединной поверхности конструкции.



*Решение*

При выборе материала легкого среднего слоя разработчик ищет баланс между весовыми характеристиками конструкции, ее технологичностью, а также характеристиками прочности и долговечности конструкции. Как правило, в качестве основных материалов легкого среднего слоя рассматриваются вспененные структуры, а также готовые заполнители.

Сотовые заполнители представляют собой весьма привлекательный материал с точки зрения сочетания весовых характеристик и характеристик технологичности. Они много лет имеют широкое применение в авиации.

Известно, что сотовый заполнитель существенно повышает изгибную жесткость конструкции. Проиллюстрировать это можно следующим примером. При относительном повышении плотности заполнителя на 6 % жесткость конструкции повышается примерно в 39 раз.

Появление наряду с сотовыми заполнителями из крафт-бумаги, применяемых в авиации, сотовых заполнителей, изготовленных из более дешевых материалов, позволило применять их в судостроении.

Одним из таких материалов является ячеистый заполнитель, имеющий товарное наименование *nidaplast* (рис. 2). Он представляет собой материал на базе экструдированного полипропилена. Структуру материала составляют шестигранные гексагональные ячейки, имеющие поперечный размер равный 8 мм. Дно и верхняя часть каждого шестигранного элемента сотового наполнителя плотно закрыты термопластичной пленкой, препятствующей попаданию смолы или клея внутрь ячеек. Кроме того, эта пленка обеспечивает соединение торцов сот с нетканым полиэфирным материалом (рис. 3). При создании трехслойной конструкции поверхность из полиэфирного материала приклеивается или приформовывается к жестким внешним слоям сэндвича, обеспечивая высокую адгезию соединения.

Сотовый наполнитель *nidaplast* прекрасно поддается механической обработке. Он может использоваться в современных технологиях создания композитов, начиная от ручного формования и напыления, кончая вакуумной инфузией и RTM-процессами. Сотовый наполнитель *nidaplast* обладает достаточно высокими механическими характеристиками, в том числе, низкой плотностью в диапазоне от 80 до 110 кг/м<sup>3</sup>.

При проектировании надстройки пассажирского СПК из композитов был определен верхний предел плотности материала легкого среднего слоя, равный 80 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому в качестве альтернативных материалов легкого среднего слоя рассматривались сотовый заполнитель *nidaplast* плотностью 80 кг/м<sup>3</sup> и ПВХ пенопласт *divinycell H* фирмы *DIAB* плотностью 80 кг/м<sup>3</sup> (рис. 4–5). Их характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Характеристики материала легкого среднего слоя**

| Характеристика                    | Nidaplast | Divinycell H |
|-----------------------------------|-----------|--------------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>      | 80        | 80           |
| Предел прочности при сжатии, МПа  | 1,2       | 1,2          |
| Модуль упругости при сжатии, МПа  | 30        | 85           |
| Предел прочности при разрыве, МПа | 0,5       | 2,2          |
| Предел прочности при сдвиге, МПа  | 0,4       | 0,68         |
| Модуль упругости при сдвиге, МПа  | 5         | 31           |

Несмотря на то, что по ряду механических характеристик сотовый заполнитель *nidaplast* существенно уступал ПВХ пенопласту *divinycell H*, он привлекал несравненно большей технологичностью при изготовлении конструкции, которая в большой

степени определяла стоимость надстройки из композитов пассажирского СПК. Кроме того, применение сотового заполнителя nidaplast позволяло получить массовые характеристики надстройки СПК из композитов, несколько превосходящие вариант применения ПХВ пенопласта divinycell H (табл. 2). Немаловажным было то обстоятельство, что индустриальный партнер имел большой опыт работы именно с сотовым заполнителем nidaplast и рассматривал его применение, как несомненное преимущество.

Таблица 2

**Массовые характеристики надстройки с различными материалами легкого среднего слоя**

| Характеристика                                    | Nidaplast | Divinycell H |
|---|-----------|--------------|
| Общая площадь надстройки СПК, кв.м                | 43        | 43           |
| Толщина легкого среднего слоя, м                  | 0,03      | 0,03         |
| Объем легкого среднего слоя, куб.м                | 1,29      | 1,29         |
| Удельный вес среднего слоя кг/куб.м               | 80        | 80           |
| Масса легкого среднего слоя                       | 103,2     | 103,2        |
| Площадь слоя стеклосетки СЭ-01                    | 43        | 43           |
| Площадь слоя стеклоткани Т11-ГВС9                 | 43        | 43           |
| Количество слоев сетки                            | 1         | 1            |
| Количество слоев наружной оболочки, ткань         | 3         | 3            |
| Количество слоев армирования среднего слоя, ткань | 0         | 1            |
| Количество слоев внутренней оболочки              | 2         | 2            |
| Количество слоев ткани, всего                     | 5         | 6            |
| Удельный вес стеклосетки СЭ-01, кг/кв.м           | 0,2       | 0,2          |
| Удельный вес стеклоткани Т11-ГВС9 кг/кв.м         | 0,385     | 0,385        |
| Общий вес армирующих материалов, кг               | 91,375    | 107,93       |
| Общий вес связующего при условии 50:50, кг        | 91,375    | 107,93       |
| Общий вес слоев стеклопластика, кг                | 182,75    | 215,86       |
| Общий вес надстройки по слоям, кг                 | 285,95    | 319,06       |
| Подкрепления, усиления, закладные детали, кг      | 57,19     | 63,812       |
| Общий вес надстройки с подкреплениями, кг         | 343,14    | 382,872      |

Однако за пределами рассмотрения оставались характеристики долговечности сэндвича, полученного на основе обоих материалов. Для изучения этого вопроса были изготовлены опытные образцы элементов надстройки из композитов пассажирского СПК с использованием материалов nidaplast и divinycell H с соблюдением всех необходимых технологических требований (рис. 6–7).

После этого опытные образцы были исследованы методами неразрушающего контроля. Исследование базировалось на способе определения технического состояния судовой корпусной конструкции, изготовленной из композитов, защищенном патентом РФ № 2354964 одним из авторов которого является автор данной статьи [12–14]. В процессе исследования было произведено обнаружение в теле конструкции из композитов методами неразрушающего контроля внутренних дефектов типа расслоение (непроклей). При этом было произведено измерение их площади и сравнение ее величины с предельно допустимым значением, принятым по нормативам [10].

В качестве инструмента неразрушающего контроля использовался акустический дефектоскоп ДАМИ-С, реализующий импедансный метод и метод свободных колебаний. В качестве основного метода неразрушающего контроля использовался импедансный амплитудно-фазовый метод звукового и ультразвукового контроля в частот-



ном диапазоне 1...40kHz с применением сухого точечного контакта при двухстороннем доступе [12–14].

В результате исследования было установлено, что в образцах с легким средним слоем, изготовленных из заполнителя nidaplast, имеются обширные зоны расслоений, площадью 400–500 мм<sup>2</sup> и более. В образцах с легким армированным средним слоем, изготовленных из заполнителя divinycell H, зоны расслоений отсутствовали (рис. 8).

При вскрытии образцов было установлено, что расслоение находится между слоем нетканого материала, качественно приклеенным к внешнему слою сэндвича, и пленкой, отделяющей от него полипропиленовые соты. Таким образом, появление расслоения, по-видимому, явилось следствием возникновения касательных напряжений при полимеризации клея (полиэфирной смолы), приклеивающего нетканый материал к внешним оболочкам сэндвича, а возможно, и следствием производственного брака при изготовлении материала nidaplast.

Однако наличие таких дефектов было неприемлемо по условиям обеспечения прочности надстройки из композитов пассажирского СПК. Поэтому было принято решение использовать в качестве материала легкого среднего слоя надстройки ПВХ пенопласт divinycell H.

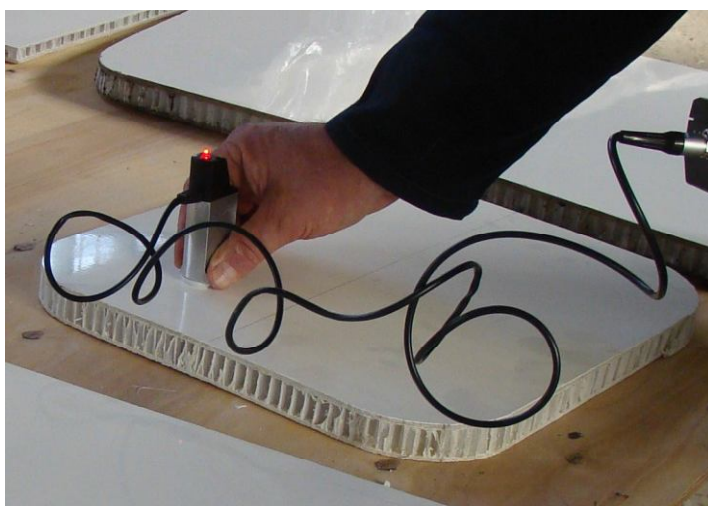


Рис. 8. Выявление дефекта типа расслоение (непроклей) в элементе конструкции надстройки с легким армированным средним слоем на базе заполнителя nidaplast.

### Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что при всей привлекательности применения сотового заполнителя nidaplast для трехслойных и многослойных судовых корпусных конструкций из композитов, его использование сопряжено с рисками образования внутренних дефектов типа расслоение достаточно большой площади на границе раздела слоев этого материала. Эти внутренние дефекты типа расслоение не могут быть устранены впоследствии даже в случае их обнаружения. Наличие таких дефектов существенно снижает характеристики прочности и долговечности трехслойных и многослойных конструкций из композитов, к которым предъявляются требования повышенной весовой эффективности. Поэтому сотовый заполнитель nidaplast может быть рекомендован исключительно к применению в малоответственных судовых корпусных конструкциях из композитов, для которых требования к прочности и долговечности снижены.

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 руководил указанной работой.

#### **Список литературы**

- [1] Францев М.Э. Новый облик судов на подводных крыльях для рек Сибири и Дальнего Востока. / Францев М.Э. Чуднов И.В. // Судостроение, № 2, 2014, стр. 18–22.
- [2] Францев М.Э. Создание надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях с позиций обеспечения ее весовой эффективности и характеристик долговечности. / Францев М.Э. // Сборник трудов научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти академика Ю.А. Шиманского, 2016, СПб, стр. 106–107.
- [3] Александров А.Я. Об определении оптимальных параметров элементов авиационных конструкций типа трехслойных пластин и пологих оболочек с сотовым наполнителем. – / Александров А.Я. Наумова М.И. // В кн. Актуальные проблемы авиационной науки и техники. М. Машиностроение, 1984, с. 4–14.
- [4] Душин А.М. Определение минимального веса трехслойной конструкции. – / Душин А.М., Ивонин Ю.Н. // В сб. Авиационные материалы. М., 1984, с. 89–100.
- [5] Кузьмин М.А. Расчеты на прочность элементов многослойных композитных конструкций / Кузьмин М.А., Лебедев Д.Л., Попов Б.Г.; под ред. Данилова В.Л. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – 341 с.
- [6] Лизин В.Т. Проектирование тонкостенных конструкций. / Лизин В.Т., Пяткин В.А. М: Машиностроение, – 2003. – 447 с.
- [7] Межслойные эффекты в композитных материалах /. под ред. Пэйгано Н. пер. с англ. под ред. Ю.М. Тарнопольского, М, Мир, 1993, 347 с.
- [8] Бохоева Л.А. Особенности расчёта на прочность элементов конструкций из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами / Бохоева Л. А. Улан-Удэ, 2007, 192 с.
- [9] Францев М.Э. Определение степени утраты прочностных свойств и оценка возможности разрушения судовой корпусной конструкции из композита в зоне развития эксплуатационного дефекта типа расслоение. / Францев М.Э. // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти академика Ю.А. Шиманского, 2013, СПб, стр. 124–126.
- [10] ОСТ 5.9102-87 «Стеклопластики конструкционные для судостроения. Методы неразрушающего контроля», ЦНИИТС, Л., 1987.
- [11] Greene E. Marine composites. Second Edition. Eric Greene Associates, Inc., Annapolis, 1999.
- [12] Frantsev M.E. Nondestructive Testing of Ship Hulls Made of Composite Materials Using Acoustic Methods. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2013, Vol. 49, No. 1, pp. 1–7.
- [13] Frantsev M.E. The mode used for the estimation of the technical condition for the boat hull from composite materials for exploitation, 10-th European Conference on Non-Destructive Testing, Moscow, June 7–11, 2010, Abstracts, part 2, p. 64.
- [14] Frantsev M.E. The project's recommendation for definition of the most loaded and vulnerable elements of boat hull from composites which based on results of survey by methods of non-destructive testing., World Maritime Technology Conference, Saint-Petersburg 29 May – 1 June, 2012, Abstracts of papers, p. 31.

## **PROJECT JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE MATERIAL OF THE MIDDLE LAYER OF THE SUPERSTRUCTURE MADE UP OF THE COMPOSITES OF A PASSENGER HYDROFOIL VESSEL**

*M.E. Frantsev*

Key words: *passenger hydrofoil vessel, composite superstructure, light middle layer.*

*The article describes the design rationale for the selection of Nidaplast and Divinycell H materials as a material for the light middle layer of the superstructure made up of composite of a passenger hydrofoil vessel based on the research of prototype of superstructure elements manufactured using these materials. A comparative study of the mechanical characteristics of both materials was carried out. The mass of the superstructure was calculated using each of the materials. Forecasting characteristics of the durability of sandwich based on these materials was carried out using non-destructive testing methods. Extensive zones of delamination were found in the material Nidaplast. This determined the choice in favor of the material Divinycell H.*

Статья поступила в редакцию 18.04.2018 г.

УДК 629.12

**В.В. Шабаров**, к.т.н., руководитель научно-исследовательского отдела  
ООО СК «Аэроход»

**Д.Т. Чекмарев**, профессор ФГАОУ ВО «ННГУ им. Н.И. Лобачевского»

**А.В. Туманин**, инженер-конструктор ООО СК «Аэроход»  
603003, г. Нижний Новгород, ул. Заводской парк, 21, оф. 301

**Ф.С. Пеплин**, аспирант ФГАОУ ВО «ННГУ им. Н.И. Лобачевского»  
603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ НА КРЕЙСЕРСКОМ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ**

Ключевые слова: судно на воздушной подушке, СВП, демпфирование, воздушная подушка, вычислительная гидродинамика

*В статье приведена постановка задачи и результаты расчетов демпфирующих усилий, возникающих при вертикальных колебаниях судна на воздушной подушке (СВП). Демпфирующее давление в воздушной подушке (ВП) определяется как разность давления в ВП при вертикальном движении судна и давления, обусловленного втекающим и вытекающим воздухом из ВП. Показано, что учет демпфирующих сил при моделировании динамики движения СВП в условиях волнения приводит к значительному снижению значений расчетных перегрузок и размахов вертикальной и килевой качки.*

### **Введение**

При создании новых скоростных судов, и, в частности, судов на воздушной подушке (СВП), исключительную для качества проектирования роль играет степень достоверности математической модели динамики движения создаваемого судна. Достоверная математическая модель динамики движения позволяет не только надежно прогнозировать скоростные характеристики, устойчивость на курсе, управляемость, мореходные качества, а для амфибийных СВП и характеристики проходимости, но и надежно определять действующие на судно нагрузки, в том числе в особых случаях движения. Достоверная информация о внешних нагрузках позволяет качественно сформировать конструктивно-силовую схему корпуса и основных элементов судна, провести весовую оптимизацию и, тем самым, поднять экономические и эксплуатационные показатели создаваемого скоростного судна.