

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi79.487

## **Особенности применения естественных элементов жесткости в конструкциях судов из композиционных материалов**

**С. А. Королев<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0001-8425-3096*

**К. Е. Корольков<sup>1</sup>**

*ORCID: 0009-0005-8464-7366*

**А. Г. Назаров<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-6313-6277*

<sup>1</sup>*ООО АН Марин Консалтинг, г. Москва, Россия*

**Аннотация.** В статье рассматривается круг вопросов, связанных с проектированием судовых конструкций из композиционных материалов. Для формирования поверхности таких конструкций часто используются естественные элементы жесткости, определяющие форму и функциональность изделия и одновременно обеспечивающие его прочность и жесткость. К таковым относятся углы, гофры, кривизна и подобные элементы, которые проанализированы в статье путем серийных расчетов методами конечных элементов и пакетного анализа ламинатов. Выделены факторы снижения массы конструкций за счет элементов жесткости. Выполнен обзор нормативных методов учета указанных элементов в разных правилах и даны рекомендации по внедрению их в отечественные нормативные документы. Подчеркивается необходимость принципиально иного подхода к проектированию конструкций из композиционных материалов.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, прочность конструкции, элементы жесткости, малые суда.

## **Specifics of application of natural stiffening elements in ship structures made of composite materials**

**Sergey A. Korolev<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0001-8425-3096*

**Konstantin E. Korolkov<sup>1</sup>**

*ORCID: 0009-0005-8464-7366*

**Albert G. Nazarov<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-6313-6277*

<sup>1</sup>*AN Marine Consulting, Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The article discusses a range of issues related to the design of ship structures made of composite materials. To form the surface of such structures, natural stiffening elements are often used, which determine the shape and functionality of the product, and at the same time ensure its strength and rigidity. These include angles, corrugations, curvature and similar elements, which are analyzed in the article by serial calculations using finite element methods and batch analysis of laminates. The factors of reducing the weight of structures due to stiffening elements are highlighted. A review of the normative methods of accounting for these elements in different rules has been carried out and recommendations for their implementation in domestic regulatory documents have been given. The necessity of a fundamentally different approach to the design of structures made of composite materials is emphasized.

**Keywords:** composite materials, structural strength, stiffeners, small vessels.

## **Введение**

В современном судостроении все более широкое применение находят полимерные композиционные материалы (КМ); так, среди судов малого размера (до 24м) доля судов с корпусом из КМ сегодня составляет до 80%. Из КМ создаются также конструкции судов более крупного размера, в том числе и для «конвенционных» транспортных судов.

При этом применение КМ требует переосмысления подходов к проектированию судовых конструкций с учетом особенностей материала. Во-первых, материал корпуса проектируется вместе с судном, с учетом действующих нагрузок. Во-вторых, материал образуется из компонентов непосредственно в процессе постройки судна. Свойства получаемого при этом материала в значительной степени зависят от технологического процесса постройки.

Одним из преимуществ композитов, наряду со снижением массы конструкций, является возможность придавать им практически любую форму, что позволяет создавать изделия с высокой эстетической привлекательностью и функциональностью, что в последние годы облегчается наличием станков с ЧПУ для фрезерования технологической оснастки. Сложные формы позволяют создавать легкие оболочковые конструкции с минимумом набора, тем самым снижая трудоемкость изготовления конструкции. При этом, в отличие от других материалов, в составе конструкций из КМ широко используются естественные элементы жесткости (ЕЭЖ), которые позволяют еще более минимизировать применение набора (рис.1). Таким образом, в дополнение к указанным выше проявляется еще одна особенность проектирования судов из КМ: геометрия судна проектируется с учетом особенностей технологии постройки и действующих нагрузок.

Следует сказать, что преимущества ЕЭЖ известны давно и они в полной мере используются в практике проектирования конструкций из КМ. Достоверный учет ЕЭЖ при проектировании конструкций позволяет снизить массу корпуса и трудоемкость изготовления изделия. Однако с точки зрения правил и стандартов не всегда удастся обосновать применение ЕЭЖ, в первую очередь при работе с классификационными обществами (КО), чьи правила в основном ориентированы на представление конструкции в виде классических «пластин» и «балок набора». С другой стороны, встречаются случаи, когда ЕЭЖ не выполняют ожидаемую от них функцию: например, переборка не имеет необходимого усиления по периметру примыкания к конструкции, и потому происходит ее разрушение. В целом, методы инженерного анализа конструкций с ЕЭЖ недостаточно разработаны; применение МКЭ позволяет анализировать частные случаи конструкций, однако при этом следует использовать адаптированные коэффициенты запасов прочности, что не всегда прописано в правилах КО. С целью повышения эффективности конструкций из КМ на основе расчетов примеров конструкций и анализа действующих правил и стандартов в настоящей работе рассматриваются особенности применения ЕЭЖ при проектировании судов.

### **Типы естественных элементов и их учет в стандартах**

Типы ЕЭЖ, встречающиеся в современных конструкциях, отличаются значительным разнообразием. К ним относятся, в первую очередь, части самих конструкций их КМ:

- Примыкающие конструкции и соединения – например стыки формованных секций корпуса и палубы, палубы и рубки, корпуса и секции интерьера т.д.;
- Кривизна, образуемая пластинами обшивки корпуса, надстройки т.д.;

- Углы, например скуловой слом в месте перехода днища в борт скоростного катера, фаски в мостовых конструкциях катамаранов (см. рис.1 и 2);
- Местные элементы – уступы, гофры, зиги; например, продольные и поперечные реданы, имитация клинкерной обшивки; зачастую эти элементы вводятся в конструкцию из КМ специально;
- Изменения в толщине конструкции, например, некоторые узлы перехода от однослойной к трехслойной обшивке;

Кроме того, в качестве ЕЭЖ могут рассматриваться накладные элементы из иных материалов, отличных от КМ: килевые накладки из металла или дерева; обстройка, включающая интерьерные переборки и мебель из фанеры, а также некоторое оборудование, например контур литого водозаборника водомета, рама подъемной купальной платформы (см. рис.1) и т.д.

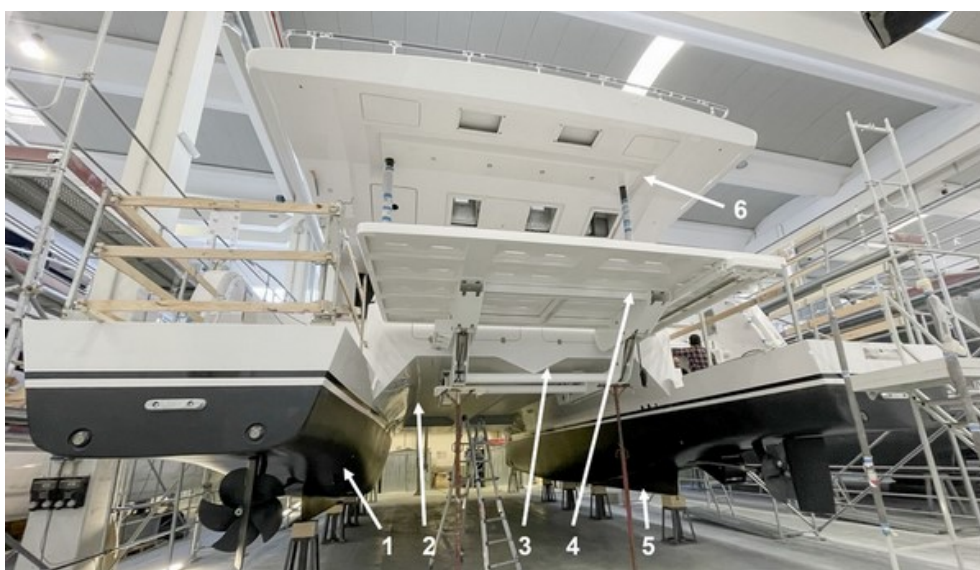


Рис. 1. ЕЭЖ на катамаране пр.SY60 из КМ

- 1 – кривизна борта; 2 – фаска/угол в месте соединения моста и корпуса; 3 - балка-«волнорез» на мосту катамарана, являющаяся элементом жесткости; 4 – алюминиевая рама подъемной платформы, обеспечивающая жесткость конструкции настила из КМ; 5 – киль-плавник; 6 – элементы формы крыши.

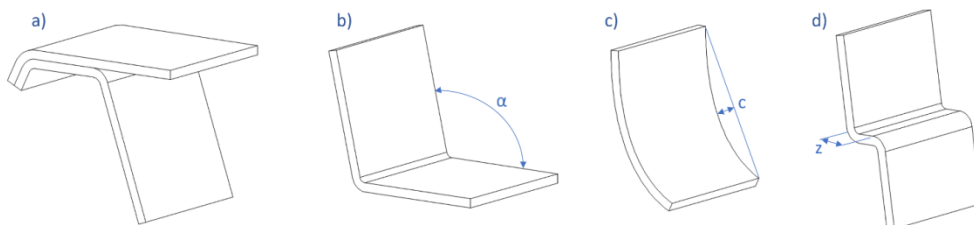


Рис. 2. Некоторые типы естественных элементов жесткости и их геометрические параметры а) – соединение секций; б) – угол; в) – кривизна; д) – уступ

Ряд нормативных документов и правил КО предусматривают учет ЕЭЖ при расчетах прочности конструкций из КМ. Наиболее ориентированным на ЕЭЖ

является стандарт ISO12215-5:2019 [1] применяемый для судов с длиной корпуса  $L_H \leq 24$  м, который содержит методы учета кривизны панелей и набора за счет коэффициента кривизны (причем кривизна в новой версии стандарта учитывается в двух направлениях) и учета угла скулы. Также, в стандарте рассматриваются криволинейные пластины больших размеров; указанными методами достигается высокая эффективность проектирования оболочковых конструкций с минимумом набора, особенно для судов малого размера.

По мнению авторов, в отечественных нормативных документах ЕЭЖ уделено недостаточно внимания. РД [13] предусматривает установку гофров и зигов, однако методы их расчета не рассматриваются. В правилах отечественных КО [10,12] отсутствует даже учет кривизны, что отличает их от зарубежных (табл.1). Причиной этого можно назвать то обстоятельство, что отечественные правила разработаны на основе опыта создания однослойных корпусов длиной 60...70 м, где из-за масштаба конструкции значение ЕЭЖ не столь значительно.

Таблица 1

**Учет естественных элементов жесткости в правилах КО и стандартах**

Стандарт или правила КО	Рассматриваемые угловые элементы	Рассматриваемые величины углов	Приведенный размер пластин в зависимости от угла*	Скругленные участки	Нормирование скруглений	Учет кривизны пластин
ISO12215-5:2008 [2]	да	130...150	нет	да	нет	да
ISO12215-5:2019 [1]	да	90...170	$c_s(\alpha)$	да	$R \leq 0,40$ длины диагонали, хорда $> 0,8R$ **	да
DNV HSLC [3]	да	90...170	$c_s(\alpha)$	да	касательная 25...55***	да
ABS HSC [4]	скула, киль	нет	нет	нет	нет	да
GL HSC [5]	да	90...170	$c_s(\alpha)$	нет	нет	да
TL HSC [6]	да	90...170	$c_s(\alpha)$	нет	нет	да
IRS HSLC [7]	скула, киль	нет	нет	нет	нет	да
KR HSLC [8]	нет	нет	нет	нет	нет	да
VTT [9]	скула, киль	нет	нет	нет	нет	да
PC [10]	скула, киль, реданы	нет	нет	нет	нет	нет

\*Корректируется расчетный размер пластины за счет коэффициента  $c_s$  в зависимости от угла между смежными пластинами  $\alpha$ ;

\*\*Нормируется максимальный радиус  $R$  кривизны панели, при котором панель может считаться естественным элементом жесткости;

\*\*\*Нормируется область обшивки, которая может приниматься как ребро жесткости в зависимости от угла наклона пластины.

### МКЭ моделирование элементов конструкций

В рамках исследования, авторами выполнено численное моделирование нескольких типов судовых конструкций с использованием программы МКЭ Strand7. Были рассмотрены пластины обшивки с ЕЭЖ наиболее распространенных типов «уступ», «угол» и «кривизна», а также для «привязки» результатов - плоская

пластина; при этом габарит всех пластин составлял  $1000 \times 2000$  мм. Во всех случаях нагрузка принималась равномерно распределенной в виде расчетного давления 20 кПа, края пластин предполагаются заземлёнными. Ламинат всех пластин одинаков и составляет 9 слоев квадрансальной ткани QX1000 при общей толщине слоя пластины 11 мм; использована ортотропная модель представления ламината с модулями упругости слоя  $E_x = E_y = 1,4 \times 10^7$  кПа, модулем упругости при сдвиге  $G_{xy} = 3,09 \times 10^6$  кПа, коэффициентами Пуассона  $\nu_{xy} = \nu_{yx} = 0,3$ . Дополнительное армирование зоны уступов и углов не применялось (кроме уступа 50 мм, где в одном из вариантов в зоне уступа введено дополнительное армирование равное 1/3 от основного ламината). Для элемента типа «уступ» варьировалась ширина уступа, для элемента типа «кривизна» варьировалась кривизна, для элементов типа «угол» варьировалось значение угла между днищевой и бортовой пластинами.

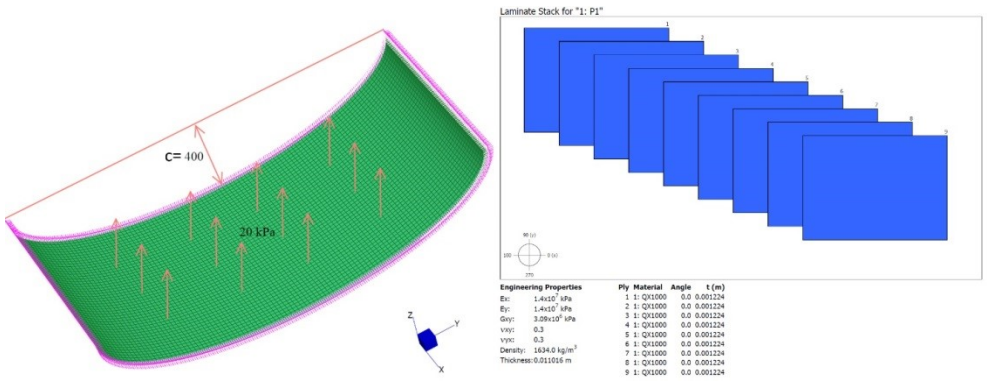


Рис. 3. Моделирование ЕЭЖ типа «кривизна» в МКЭ; показана модель пластины с заземлением кромок и равномерно распределенной нагрузкой и модель материала из слоев QX1000

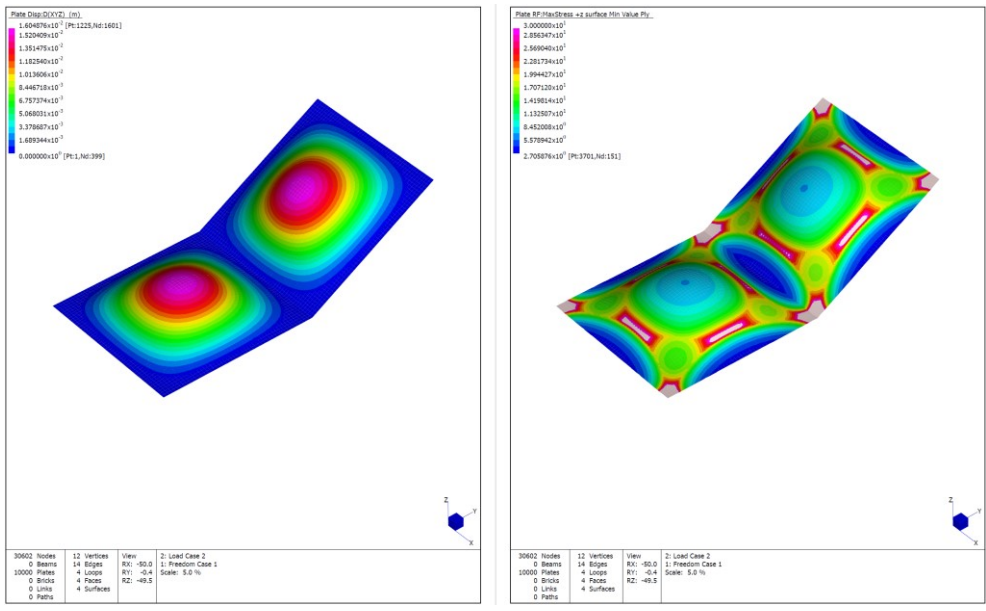


Рис. 4. Пример МКЭ расчета ЕЭЖ типа «угол» с  $\alpha = 150^\circ$ ; показаны деформации и коэффициент запаса RF по тензорному критерию напряжений

В рамках исследования выполнены также расчеты плоской пластины с использованием изотропной модели в программе Lira. Примеры результатов МКЭ-моделирования представлены на рис. 3–5 в виде распределения абсолютных деформаций, а также коэффициентов запаса  $RF$  по тензорному критерию напряжений и по критерию Цяя-Ву.

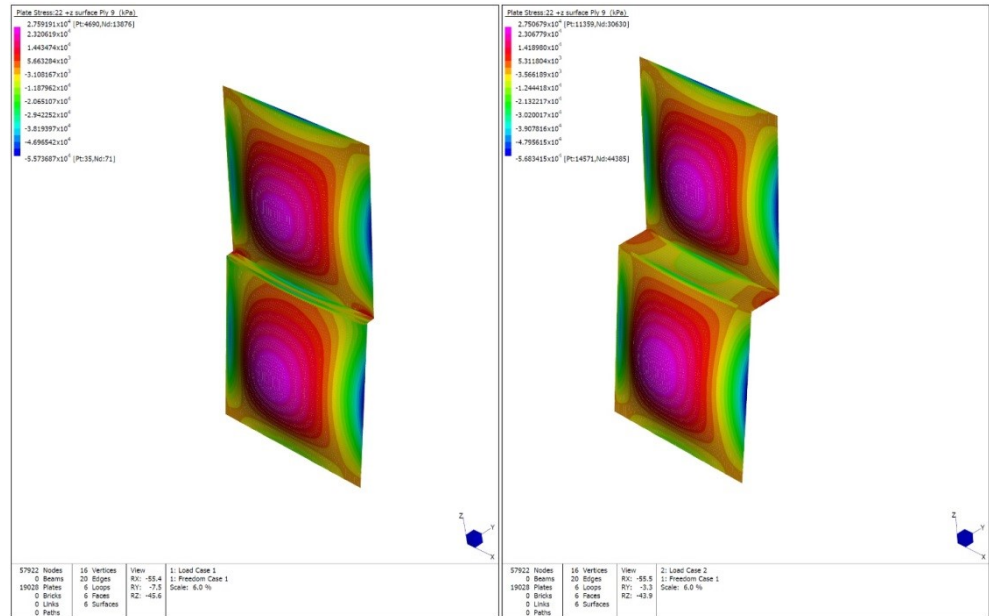


Рис. 5. Пример МКЭ расчета пластины с уступом шириной  $z=50$  и  $200$ мм; показаны напряжения в направлении 2-2 в наиболее нагруженном слое

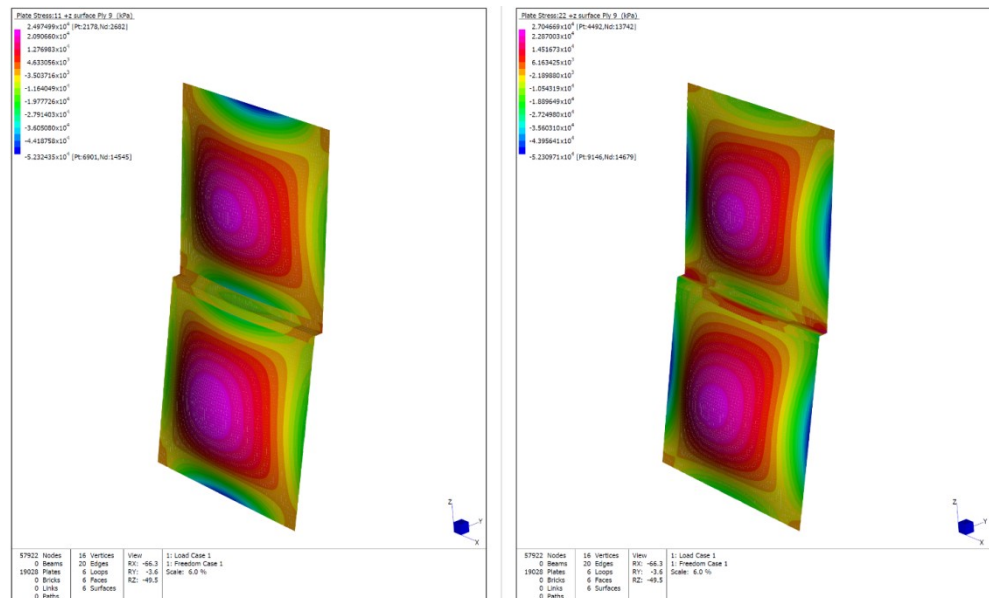


Рис. 6. Пример МКЭ расчета пластины с уступом  $z=50$ мм с дополнительным армированием уступа, показаны напряжения в направлении 1-1 и 2-2 в наиболее нагруженном слое

### Расчет элементов конструкций пакетным методом

С целью автоматизации расчетов местной прочности судов из КМ в АНМК ранее было разработано программное обеспечение SigmaLAM [11]. Характерной особенностью SigmaLAM является реализация расчетов по ISO12215-5:2019, РС [10] и РКО [12], а также IRS [7] в одном интерфейсе и с использованием одного файла данных, что позволяет сравнивать результаты, получаемые по различным методикам. Поэтому интерес представляет оценка прочности одной и той же пластины по методикам, позволяющим учесть кривизну, и без такого учета. В рамках настоящего исследования выполнена серия расчетов плоских пластин (рис.6), их результаты представлены на рис.7. Расчет выполнялся в предположении, что края пластины зашпательны; использована ортотропная модель представления слоев ламината. Размеры пластин и действующие нагрузки соответствуют таковым в анализе МКЭ.

Также, для анализа влияния ЕЭЖ на массу пластин выполнена серия расчетов пластин размеров 2000x1000мм с варьированием кривизны  $c=0, 200$  и  $400$ мм. Для уменьшения дискретности изменения толщины, в качестве армирующего материала принята мультиаксиальная ткань типа LT 0/90° поверхностной плотностью 600г/м<sup>2</sup>. Расчет пластин выполнен по методике ISO12215-5:2019 [2], т.к. она позволяет учитывать кривизну; все пластины полагаются равнопрочными с  $CF=1,05$  по нормальным напряжениям, где  $CF$  – фактор соответствия, отношение требуемого значения критерия прочности к полученному значению критерия. Как и следовало ожидать, равнопрочность пластин с разной кривизной обеспечивается при разном количестве слоев ламината: где для плоской пластины требуется 15 слоев LT600, для пластины с  $c=200$ мм достаточно всего 11 слоев.

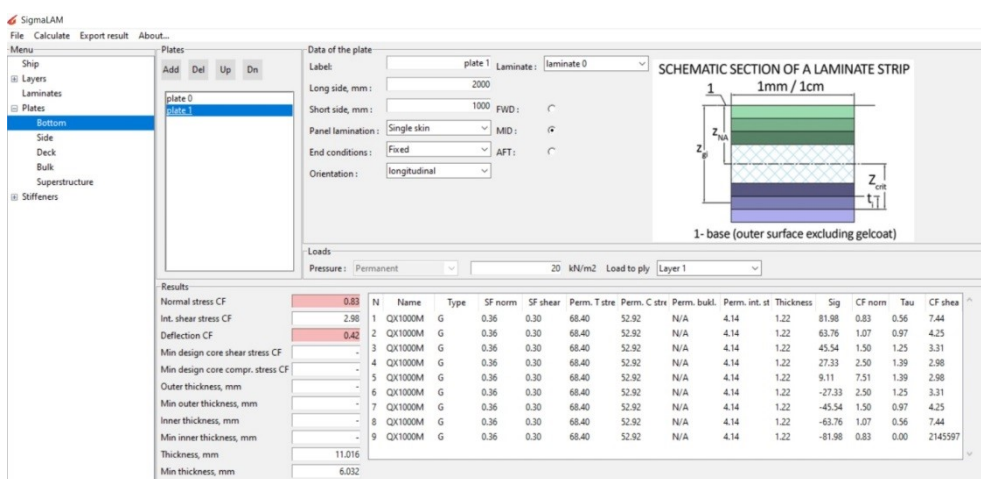


Рис. 7. Интерфейс программы SigmaLAM с расчетом рассматриваемой пластины

### Возможность образования дефектов

Помимо повышения жесткости, ЕЭЖ могут способствовать образованию дефектов при изготовлении конструкции и в ее эксплуатации. В работе [15] М.Э.Францевым выполнена серия исследований методами неразрушающего контроля и установлено значительное число дефектов в районе скулового слома судов из стеклопластика, например, дефектов типа «расслоение». Исходя из особенностей укладки армирующего материала и концентрации напряжений очевидно, что наибольшая склонность к образованию дефектов для ЕЭЖ «угол» и особенно «уступ». Однако с точки зрения расчетов прочности конструкций из КМ применение в судостроении высоких коэффициентов запаса по напряжениям (2,0 для прогулочных судов, и до 3,3 для судов коммерческого и профессионального

назначения) как раз покрывает возможность появления подобных дефектов, поэтому к их существованию в конструкциях следует относиться с пониманием.

С другой стороны, выступающие элементы ЕЭЖ, будучи расположенными в неудачных местах, сами по себе способствуют образованию сколов и трещин. Например, на судах, для которых предусматривается частый подъем на трейлер, следует избегать применения поперечных реданов в зоне контакта с трейлером, во избежание повреждения корпуса.

Наиболее устойчивой к образованию дефектов оказывается ЕЭЖ типа «кривизна», которая в общем случае способствует плавной укладке армирующего материала и лишена концентраторов напряжений.

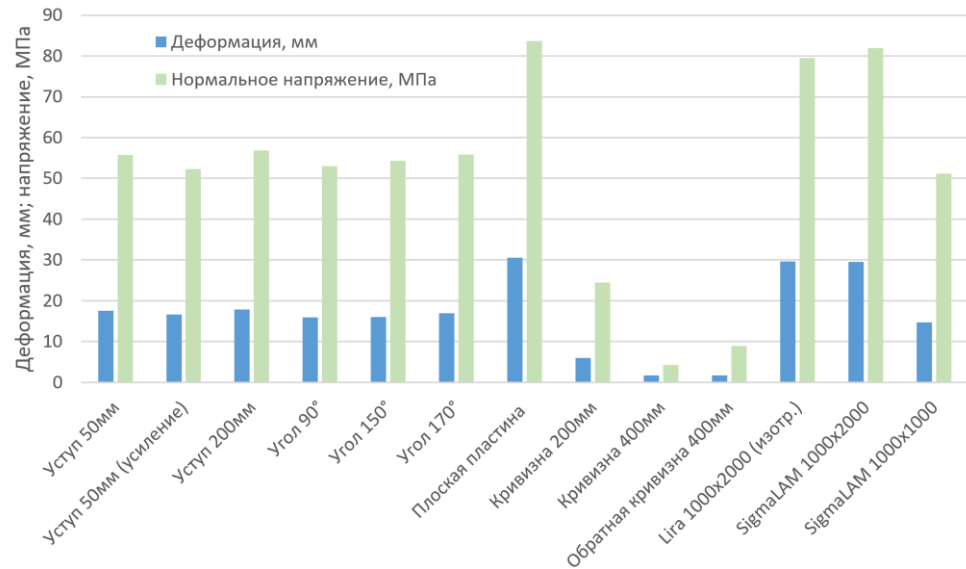


Рис. 8. Результаты расчета пластин с различными видами ЕЭЖ

#### Анализ полученных результатов и рекомендации

Выполненная авторами серия сравнительных расчетов ЕЭЖ, применяемых в практике проектирования конструкций из КМ, позволяет сделать следующие выводы:

- Элемент типа «угол» оказывается эффективен даже при  $\alpha=170^\circ$ . Графики, приведенным в правилах GL [5] и ISO12215-5:2019 [1] связывают величину угла с приведенным размером пластины и в целом более консервативны, чем полученные авторами результаты.
- Элемент типа «уступ» даже без дополнительного армирования эффективно снижает деформации и напряжения. При этом, сам по себе уступ при отношении его ширины к ширине пластины  $z/b>0,05$  позволяет на практике рассматривать разбиваемую им пластину в качестве двух независимых пластин, при «пакетном» расчете.
- При добавлении дополнительного армирования «уступа» его эффективность повышается незначительно.
- Как можно видеть из результатов анализа, наибольшую эффективность демонстрирует применение элементов типа «кривизна» (пластины выпуклостью наружу), позволяющих существенно уменьшить как величину действующих напряжений, так и соответствующие деформации. К сожалению, этот тип ЕЭЖ не учитывается в российских нормативных документах.



- Пластина с ЕЭЖ «обратная кривизна» (т.е. когда, нагрузка действует с обратной стороны - пластина является вогнутой) обладает несколько меньшей эффективностью, чем выпуклая пластина.

В связи с использованием ЕЭЖ может возникнуть вопрос: как влияет возможность потери устойчивости второго рода у выпуклых элементов при нормальной нагрузке на полученные результаты? Действительно, т.н. «прошелкивание» конструкции теоретически возможно, особенно для элементов с малой кривизной. Однако у типичных конструкций надводных судов из КМ, подобное явление на практике не наблюдается, что позволяет КО использовать угол  $170^\circ$  в качестве ЕЭЖ без дополнительных проверок (см.табл.1). Таким образом, указанный вид потери устойчивости не характерен для конструкций рассматриваемых судов [16], хотя его нельзя исключать в конструкциях с необычно тонкими оболочками – этот эффект требует дополнительного исследования.

Результаты расчетов (рис.9) по правилам [2] пластин с различной кривизной показывают, что при надлежащем использовании ЕЭЖ масса конструкций может быть снижена на 20...25% без существенного увеличения трудоемкости изготовления. При этом, результаты расчета по стандарту [2] не совпадают с расчетами МКЭ, что связано с более консервативным подходом стандартов к оценке ЕЭЖ. Интересно отметить, что согласно представленным на рис.9 результатам при увеличении кривизны удельная масса пластины снижается, но эффект снижения массы постепенно нивелируется из-за роста площади конструкции, связанного с криволинейностью пластины.

Можно отметить, что методы МКЭ являются наиболее перспективными для анализа ЕЭЖ. При этом, использование МКЭ при работе некоторыми КО не всегда воспринимается положительно и сталкивается с требованиями пресловутой «сертификации» программного обеспечения. Результаты настоящего исследования использованы в КБ АНМК при практическом проектировании судов из КМ, в частности геометрии и конструкции корпуса судна пр.SP15 (рис.10).

### **Заключение**

К сожалению, в правилах отечественных КО можно до сих пор встретить «атавизмы» применения подходов металлического судостроения к судам из КМ. Например, в [10,12] директивно указывается типа набора, величина шпации и т.д., в зависимости от длины судна и зоны корпуса и т.д. – эти консервативные требования кочуют из документа в документ, а их происхождение теряется в 1960-м годах, когда применение КМ в судостроении делало первые шаги. С учетом современных расчётных методов и развития технологий КМ смысл в подобных директивных требованиях полностью отсутствует [14]. На самом деле, конструкция корпуса современного судна из КМ вообще может не иметь выраженного набора, для чего необходим творческий подход с формированием ЕЭЖ на этапе проектирования.

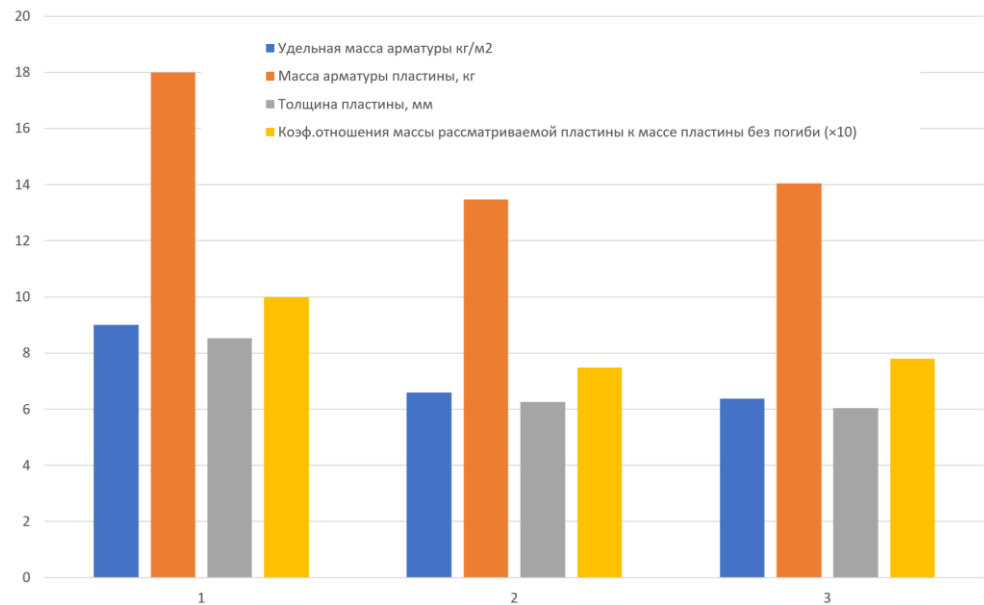


Рис.9. Результаты расчетов плоской и криволинейных пластин 2000×1000мм по методике [2]: (1) – плоская пластина, площадь  $A=2,00\text{м}^2$ ; (2) – пластина  $c=200\text{мм}$ ,  $A=2,04\text{м}^2$ ; (3) – пластина  $c=400\text{мм}$ ,  $A=2,20\text{м}^2$

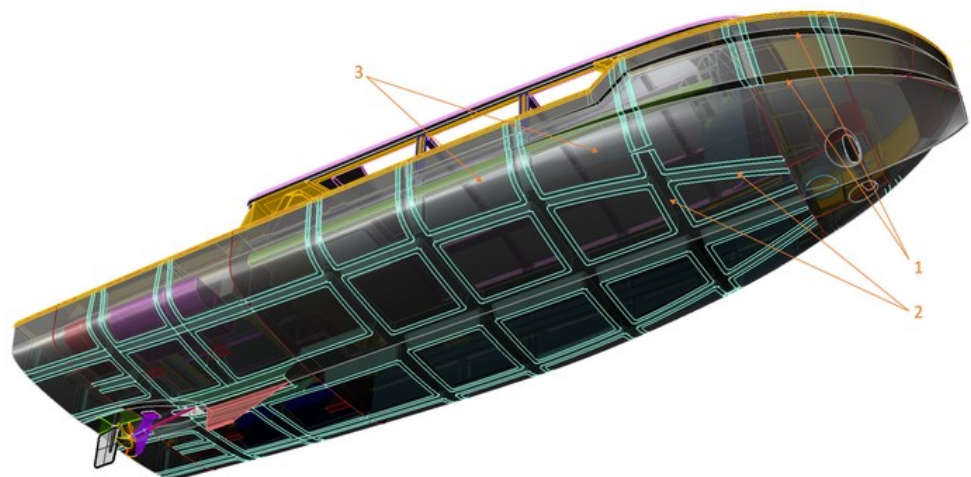


Рис. 10. Естественные элементы жесткости и набор малого пассажирского судна пр.SP15: 1 – уступы в носовой части; 2 – обычный П-образный набор; 3 – кривизна в скуловой части.

Сама идеология разработки конструкций из КМ (особенно малого размера) требует от проектировщика стратегии, принципиально отличающейся от таковой для судов из металла. Технологичность постройки судов из металла заставляет отдавать предпочтение преимущественно плоским секциям, подкреплённым набором, возможно, из профильного проката или в виде прессованных панелей с ребрами жесткости. То есть, действует принцип «минимизировать кривизну, плоские элементы подкрепить набором».

Для судов из КМ наоборот, используется принцип «форма держит», когда за счет формы с естественными элементами жесткости или трехслойных конструкций можно минимизировать набор (или вообще обойтись без него), тем самым снизив массу и трудоемкость изготовления. В предельном случае для КМ можно получить так называемый «монокок» – оболочковую безнаборную конструкцию сложной геометрии. Указанный подход обеспечивает высокую технологичность постройки судов из КМ, недостижимый для судов из металла; особенно это относится к судам малых размеров.

#### Список литературы

1. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
2. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
3. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV– 2023.
4. ABS Rules for Building and Classing High-Speed Craft (HSC Rules), 2023.
5. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. German Lloyd, 2012.
6. Turk Loydu Rules – Chapter 7 - High Speed Crafts – July 2023. Turkish Lloyd.
7. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. IRS, 2021.
8. Rules for the classification of High Speed and Light Crafts – Korean Register, 2023 -KR.
9. Guidelines for Commercial Craft. VTT. Version 2016-2.
10. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов. Российский морской регистр судоходства, 2023.
11. Королев С.А., Назаров А.Г. Автоматизация расчетов прочности судовых конструкций из композиционных материалов// «Судостроение» №2-2023 (867), с.23-29.
12. Правила классификации и постройки судов. Российский Речной Регистр, 2019.
13. Корпуса и корпусные конструкции из стеклопластика. Правила проектирования и методические указания по расчетам прочности. РД5.1186-90.
14. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches// 4nd Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
15. Францев М.Э. Дефектоскопия корпусов судов из композиционных материалов, находящихся в эксплуатации, акустическими методами неразрушающего контроля. — Дефектоскопия. 2013. №1. С. 3–11.
16. Marine Composites. Design and Performance. Edited by Pemberton R., Woodhead Publishing, 2019.

#### References

1. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
2. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
3. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV– 2023.
4. ABS Rules for Building and Classing High-Speed Craft (HSC Rules), 2023.
5. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. German Lloyd, 2012.
6. Turk Loydu Rules – Chapter 7 - High Speed Crafts – July 2023. Turkish Lloyd.
7. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. IRS, 2021.
8. Rules for the classification of High Speed and Light Crafts – Korean Register, 2023 -KR.
9. Guidelines for Commercial Craft. VTT. Version 2016-2.
10. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. [Rules for the classification and construction of sea vessels]. Chast' XVI. Konstruktsiya i prochnost' sudov iz polimernykh kompozitsionnykh materialov. Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva, 2023.
11. Korolev S.A., Nazarov A.G. Avtomatizatsiya raschetov prochnosti sudovykh konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov. [Automation of strength calculation of composite ship hull structures]// «Sudostroenie» №2-2023 (867), s.23-29.

12. Pravila klassifikatsii i postroiki sudov. [Rules for the classification and construction of ships]. Rossiiskii Rechnoi Registr, 2019.
13. Korpusa i korpusnye konstruksii iz stekloplastika. Pravila proektirovaniya i metodicheskie ukazaniya po raschetam prochnosti. [Hulls and hull structures made of fiberglass. Design rules and guidelines for strength calculations]. RD5.1186-90.
14. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches// 4nd Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
15. Frantsev M.EH. Defektoskopiya korpusov sudov iz kompozitsionnykh materialov, nakhodyashchikhsya v ehkspluatatsii, akusticheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya. [Flaw detection of ship hulls made of composite materials located in operation, acoustic methods of non-destructive testing] — Defektoskopiya, 2013. №1. S. 3–11.
16. Marine Composites. Design and Performance. Edited by Pemberton R., Woodhead Publishing, 2019.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Королев Сергей Александрович**, ведущий инженер «АН Марин Консалтинг», Севастополь, ул.Портовая 17, 299009, Россия

**Sergey A. Korolev**, senior engineer "AN Marine Consulting", Sevastopol, 17, Portovaya str., 299099, Russian Federation

**Корольков Константин Евгеньевич**, ведущий инженер «АН Марин Консалтинг», Севастополь, ул.Портовая 17, 299009, Россия

**Konstantin E. Korolkov**, senior engineer "AN Marine Consulting", Sevastopol, 17 Portovaya str., 2990099, Russian Federation

**Назаров Альберт Георгиевич**, кандидат технических наук, FRINA, CEng, MSNAME, директор «АН Марин Консалтинг», 107113, Москва, ул. Шумкина, д.20, с.1, офис 501/502, Россия, e-mail: anmarineconsulting@ya.ru

**Albert G. Nazarov**, Cand Sci (Tech), FRINA, CEng, MSNAME, director of «AN Marine Consulting», Shumkina str., 20, p.1, office 501/502, Moscow, 107113, Russian Federation, e-mail: anmarineconsulting@ya.ru

Статья поступила в редакцию 27.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 27.03.2024; published online 20.06.2024.