

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi73.274

## **Сравнительный анализ критериев местной прочности судовых конструкций из композиционных материалов**

**С.А.Королев<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0001-8425-3096*

**А.Г.Назаров<sup>1,2</sup>**

*ORCID: 0000-0002-6313-6277*

<sup>1</sup> *АН Марин Консалтинг, Россия*

<sup>2</sup> *Albatross Marine Design, Таиланд*

**Аннотация.** Применение композиционных материалов в судостроении обеспечивает неоспоримые преимущества в массовых характеристиках конструкций. Однако достижение этих преимуществ связано с обоснованным применением методов проектирования таких конструкций. В статье рассмотрены особенности наиболее применяемых стандартов и правил, приведено сравнение результатов тестовых расчетов, даны рекомендации по совершенствованию российских нормативных документов. Поставлена задача создания программного обеспечения, предназначенного для расчета конструкций из композитов для рынка РФ.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, проектирование судов, местная прочность

## **Comparative analysis of criteria for local strength of ship structures made of composite materials**

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

*ORCID: 0000-0001-8425-3096*

**Albert G. Nazarov<sup>1,2</sup>**

*ORCID: 0000-0002-6313-6277*

<sup>1</sup> *AN Marine Consulting, Russia*

<sup>2</sup> *Albatross Marine Design, Thailand*

**Abstract.** The application of composite materials in shipbuilding provides undeniable advantages in the mass characteristics of structures. However, the achievement of these advantages is associated with the reasonable application of design methods for such structures. The article discusses the features of the most commonly used standards and rules, compares the results of test calculations, and gives recommendations for improving Russian regulatory documents. The task was set to create software designed to calculate structures made of composites for the Russian market.

**Keywords:** composite materials, ship design, local strength

Современное судостроение невозможно представить без применения композиционных материалов (КМ). В сегменте рекреационных судов из КМ строится до 90% численности флота; расширяется сфера применения КМ для коммерческих судов и рыболовных судов длиной до 30м (рис. 1), ведутся работы по внедрению КМ в

«конвенционное» судостроение. Среди преимуществ КМ: снижение массы конструкций и стоимости при крупносерийной постройке, минимальный объем межсезонного ремонта, отсутствие коррозии и т.д. Зачастую применение КМ сдерживается сложностью и «разнобоем» в методах их расчетов, а также отсутствия у ряда классификационных обществ (КО) требований к таким судам.



Рис. 1. Суда из КМ (проекты AMD): а) служебный катер пр.МОВ14 (Индия), класс GL; б) спасательный катамаран с противопожарным оборудованием пр. SMFF18 (ОАЭ), класс LR.

Целью статьи является повышение эффективности проектирования конструкций из КМ путем совершенствования методов их расчета. В статье поставлены следующие задачи: выполнить анализ существующих критериев прочности, провести сравнительные расчеты элементов конструкций, используемых в правилах КО и стандартах, дать рекомендации по применению и разработке нормативных документов, выполнить тестирование расчетов с использованием разработанной авторами программы SigmaLAM.

### **Особенности расчета прочности судовых конструкций из КМ**

Расчет прочности судовых конструкций из КМ традиционно сводится к ряду задач анализа: а) общей прочности корпуса судна как балки, б) местной прочности пластин и балок, в) прочности элементов, таких как фундаменты двигателя, мачты, крепления и т.д. Для большинства судов длиной до 40м определяющей является именно местная прочность [4], для расчета которой конструкция представляется в виде комбинации пластин обшивки (однослойных либо трехслойных) и балок набора. Особенности расчета конструкций из КМ является то, что КМ в общем случае является анизотропным материалом. Сам материал образуется в процессе постройки судна, а прочностные характеристики решающим образом зависят от технологических факторов.

Таблица 1

Критерии прочности судовых конструкций из КМ для трехслойных пластин

	LR	DNV	GL	BV	ABS	ISO12215-5		IRS	PMPC	PPP	РД
						2019	2008				
	[8]	[13]	[12]	[10]	[11]	[5]	[4]	[9]	[16]	[17]	[14]
<b>Основные критерии</b>											
Нормальных напряжений	+			+		+	+		+	+	+
Минимальный момент сопротивления (зависящий от нормальных напряжений)					+			+			
Удлинения (strain)		+	+								
Касательных напряжений в заполнителе	+	+	+	+					+	+	+
Минимальная толщина заполнителя или всей панели (зависящая от касательных напряжений в заполнителе)					+	+	+	+			
Деформаций без учета сдвига		+	+								
Деформаций с учетом сдвига	+								+	+	+
Минимальный момент инерции					+		+				
Межслойный сдвиг	Н	Н	+	+		Н	Н				
<b>Дополнительные критерии</b>											
Минимальной толщины оболочек					+			+	+	+	+
Минимальной массы арматуры оболочек	+	+				Р	+				
Потери устойчивости оболочек	А	А	А	А	А	А	А		+	+	+
Минимальной прочности заполнителя на сдвиг	+	+			+	+	+		+		
Минимальной прочности заполнителя на сжатие	+	+				+			+	+	

Р – только для рабочих судов; Н – в методике рассчитывается, но не нормируется;  
А – используется формула (1) из книги Аллена [1].

Обзор существующих методов оценки местной прочности представлен в [15]. Для большинства современных КО и стандартов в задачах местной прочности характерны «пакетные» методы анализа либо классическая теория ламинатов (CLT), а также использование метода конечных элементов (МКЭ); все это требует использования специализированного программного обеспечения.

### **Типы критериев прочности**

Условно все используемые критерии прочности можно разделить на две группы (см.табл.1):

- Основные, непосредственно характеризующие разрушение конструкций – это критерии напряжений (либо удлинения) и деформаций.
- Дополнительные, накладывающие добавочные ограничения на конструкции – например, критерии потери устойчивости, минимальной толщины либо массы арматуры оболочек, пропорций балок набора, минимальной плотности либо прочности пенопласта и т.д.

Особый случай составляют критерии прочности в случае применения метода конечных элементов (МКЭ), где вместо первой группы используются тензорные критерии. Критерии второй группы оценить с использованием МКЭ практически невозможно.

Как правило, в грамотно составленной методике расчета критерии не дублируются; в «компилированных» из разных источников методиках такое дублирование встречается.

### **Зарубежные классификационные общества**

Регистр Ллойда был одним из первых, разработавших правила для судов из КМ (точнее - из стеклопластиков). Методика Ллойда 1960-х базировалась на упрощенном подходе с директивной шпацией и зависящей от нее толщиной обшивки. В настоящее время требования Ллойда к конструкциям из КМ изложены в правилах LR SSC [8] и основаны на пакетном анализе ламинатов. Ллойдом разработана и оригинальная программа для расчетов общей и местной прочности, в которой это КО принимает и проверяет проектные расчеты. Допускаемые нормальные напряжения 0,25...0,33 от предела прочности, в зависимости от положения и воздействия нагрузок от слеминга; касательные напряжения для заполнителя 0,35...0,45 от предела прочности. Прочностные свойства материалов заложены в LR SSC в виде аппроксимированных формул в зависимости от типа материала и содержания арматуры. Опыт работы с LR показывает, что правила хорошо подходят для рабочих судов (рис.1б), предназначенных для тяжелых условий эксплуатации, включая ограниченные ледовые условия.

Подходы и правила Американского бюро судоходства ABS [11] в части судов из КМ в 1980-90-х были наиболее прогрессивными; например, они использовались для проектирования гоночных океанских яхт. Фактически с тех пор они не претерпели существенных изменений и базируются на квази-изотропном подходе к анализу конструкций, когда свойства слоев в ламинатах «усредняются» и расчет выполняется подобно изотропной пластине или балке набора. Допускаемые напряжения в оболочках и заполнителе 0,33 и 0,30...0,40 (в зависимости от типа заполнителя). В то же время, в преамбуле к разделу из КМ предусмотрена и возможность «пакетного», CLT и МКЭ анализа.

Из практического опыта проектирования (рис.1а), пожалуй, наиболее удачные правила для судов из КМ были разработаны Германским Ллойдом (GL) в редакции 2012 года [12], основанные на подходе CLT (classic laminate theory). В новой редакции объединенного общества DNV (после слияния DNV и GL в 2013) для объединенных

правил расчетный метод анализа композитов был перенесен из GL, а расчётные нагрузки – на основе старых правил DNV, причем привести нагрузки к адекватному виду удалось лишь в редакции 2018 года. Правила DNV HSLC [13] оказались неоправданно усложнены: например, для каждой трехслойной пластины из КМ требуется выполнять расчет в нескольких точках, что существенно увеличивает трудоемкость расчетов. Кроме того, у DNV имеются также правила ST0342 [2] для судов длиной до 24м, где применён упрощенный метод анализа КМ.

Следует отметить, что во всех перечисленных выше правилах используется критерий устойчивости сжатых оболочек трехслойных конструкций в форме, приведенной в книге Аллена [1]:

$$\sigma_c = B' \times \sqrt[3]{E_{CS} E_{CC} G_{CC}} \quad (1)$$

где  $\sigma_c$  - критическое напряжение сжатия в сжатой оболочке,  $B'$  – коэффициент,  $E_{CS}$ ,  $E_{CC}$  – модули упругости материала оболочки и заполнителя,  $G_{CC}$  – модуль сдвига материала заполнителя. Различия наблюдаются только в величинах коэффициента  $B'$  – его теоретическое значение составляет 0,8, в то время как КО используют 0,5...0,6 и далее применяют к нему различные коэффициенты запаса.

Правила Индийского Регистра IRS [9] сравнительно новые в части КМ, но уже доказавшие свою эффективность в ряде проектов [6]. Правила содержат расчетные нагрузки и критерии прочности, но не включают методику расчетов, давая проектировщикам определенную свободу выбора инструментов проектирования. Допускаемые нормальные и касательные напряжения составляют 0,4 от предела прочности материала для зон с нагрузками от слеминга и 0,3 для всех остальных элементов.

### **Стандарты ISO12215-5 и VTT**

Стандарт ISO12215-5 (и разработанный на его основе стандарт VTT для коммерческих судов) имеет более чем 20-летнюю историю применения и совершенствования, и являются в настоящее время основой для проектирования судов до 24м. Следует заметить, что иногда стандарт 12215-5 некорректно воспринимается как применимый исключительно для рекреационных судов: действительно, такое применение было оговорено в ранних его редакциях. Однако уже редакция 2008 включала «суда, используемые для чартера», а в редакции 2019 включены «коммерческие и рабочие суда», для которых применяются более высокие коэффициенты запаса и критерии минимальной массы арматуры оболочек. Так, допускаемые нормальные и напряжения рекреационных судов составляют 0,5 от предела прочности материала для оболочек, касательные 0,5...0,65 для заполнителя, в зависимости от типа заполнителя. Для рабочих судов те же величины составляют 0,33 и 0,33...0,43 соответственно. В стандартах ISO [5] принимается  $B'=0,3$  в формуле (1). В основе расчета прочности конструкций из КМ по ISO12215-5 лежит процедура пакетного анализа ламинатов. В новой версии [5] также приведены рекомендации по применению CLT и МКЭ.

Отметим, что правила РМРС указывают на возможность применения стандартов этой группы для расчетов прочности высокоскоростных судов.

### **Российские нормативные документы**

Говоря о российской нормативной практике, следует упомянуть РД51186-90 [14], который содержит методы расчета конструкций из КМ. При этом, пластины и оболочки трехслойных конструкций рассматриваются как де-факто изотропные, что в современных проектах применяется редко; балки набора вообще не рассматриваются.

В целом, документ устарел и использовать его как для практических расчетов, так и для разработки новых нормативных документов нецелесообразно.

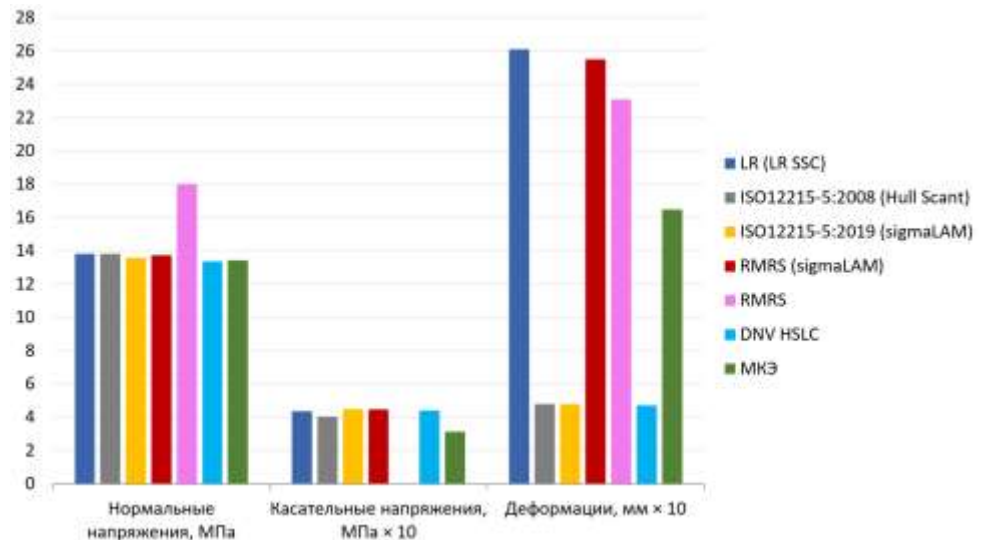


Рис. 2. Результаты расчета в абсолютных величинах трехслойной пластины борта размером 500×1000мм на давление 40кПа по различным методикам.

Правила PPP в части композитов достаточно статичны и претерпели минимум изменений за прошедшие десятилетия. PPP [17] не оговаривает методику расчетов конструкций из КМ, а задают лишь критерии прочности и требуемые коэффициенты запасов. Приоритет отдается общей продольной прочности, что для типичных судов из КМ (большинство из них – до 40м длиной) вообще не является определяющим случаем. Содержатся многочисленные директивные требования к продольной и поперечной шпации, применяемой системе набора и т.д. – все это не соответствует современной практике и видится «рудиментом» правил 1960-х годов. Также, прочностные характеристики КМ устанавливаются исключительно методом испытаний. Допускаемые нормальные и касательные напряжения составляют 0,15...0,60 от временного сопротивления материала в зависимости от положения и способа изготовления конструкции. В целом, правила PPP дают достаточную свободу проектирования конструкций, если удастся «вписаться» в требования к шпации и воспользоваться результатами проведенных ранее испытаний материалов.

Правила РМРС также были довольно статичны длительное время и основаны на «директивном подходе», когда толщина обшивки задавалась вместе со шпацией и другими элементами конструкции. В 2018 году правила РМРС претерпели значительное обновление, и сделана попытка разработать расчетный метод, базирующийся во многом на РД [14]. Тем не менее, правила до сих пор находятся в стадии становления. Так, в начале 2021 года был издан бюллетень изменений объемом 43 страницы, который включал корректировки значительного числа формул и графиков. Допускаемые нормальные напряжения составляют 0,27...0,49, касательные – 0,225 ... 0,56 от предела прочности в зависимости от положения и способа изготовления конструкции. Основные проблемы видятся в следующем:

- минимальные прочностные характеристики КМ, а также содержание арматуры в правилах завышены и находятся выше средних/достижимых в отрасли;

- назначение коэффициентов запаса имеет неоправданно запутанную структуру, причем слои в одном и том же элементе могут иметь разные коэффициенты запаса;
- рекомендуемый в правилах метод анализа конструкций не подразумевает послойный анализ, а использует усреднение свойств КМ, из которого состоит элемент;
- методика расчета делает значительный акцент на сжатые по краям пластины, в то же время в зарубежных КО такие случаи рассматриваются редко;
- многие графики, например, для расчета устойчивости, с трудом поддаются аппроксимации, что делает затруднительным автоматизацию расчетов прочности.
- использование критерия толщины оболочки вместо критерия массы арматуры стимулирует применение низкотехнологичных ламинатов.
- в правилах содержится большое количество конструктивных узлов, нетиповых для судов небольших размеров из КМ.

Выполненные авторами оценки показывают, что РМРС для однослойных пластин и балок набора работоспособны. В то же время, для трехслойных пластин формулы РМРС дают величины напряжений, превышающие таковые у всех КО и стандартов ISO12215-5, что говорит о необходимости проверки расчетных формул. При этом, следует отметить большую проделанную работу и стремление РМРС к совершенствованию правил для КМ.

### **Сравнительные расчеты прочности конструкций**

Опыт показывает, что наибольшие расхождения в методиках и критериях различных КО и стандартов наблюдаются при выполнении расчетов трехслойных пластин. Для сравнения методик авторами выполнены тестовые расчеты ряда трехслойных пластин, имеющих размеры 500x1000мм, представляющие днищевую, бортовую и палубную конструкции. В качестве примера на рис.2 показаны результаты расчета для трехслойной бортовой пластины, изготавливаемой методом инфузии и имеющей армирование наружной и внутренней оболочек из 4 слоев двунаправленной ткани LT600, 0/90°, 600г/м<sup>2</sup>, наполнитель среднего слоя – из пенопласта Divnucell H100 20мм. Расчет выполнен на равномерно распределенное давление 40кПа. Результаты представлены на рис.2 в абсолютных величинах и на рис.3 в виде «фактора соответствия» CF (compliance factor), показывающего, во сколько раз действующая величина критерия превышает допустимую величину, и определяемого как:

$$CF = \frac{\text{допускаемое значение}}{\text{действующее значение}} = \frac{\text{предельное значение} \times \text{коэффициент запаса}}{\text{действующее значение}}$$

При CF<1.0 критерий прочности не выполняется. В процессе выполнения расчетов анализировались несколько методик, в первую очередь основанных на «пакетном» анализе, и производилось сравнение полученных величин CF.

В расчете по ISO12215-5:2008 в программе HullScant используются коэффициенты запаса, применяемые в этом стандарте: 0,5 для нормальных и касательных напряжений в оболочках и 0,55 для касательных в наполнителе. Прочностные характеристики также взяты из указанной редакции стандарта, для метода «b» (содержание арматуры в ламинате подтверждено тестами).

Расчет по ISO12215-5:2019 выполнен двумя способами – с использованием программ HullScant2.0 и SigmaLAM. Приняты коэффициенты запаса для рабочих судов. Прочностные характеристики материалов определены по внутренним

формулам стандарта с коэффициентом 0,95, учитывающим применяемую методику расчета.

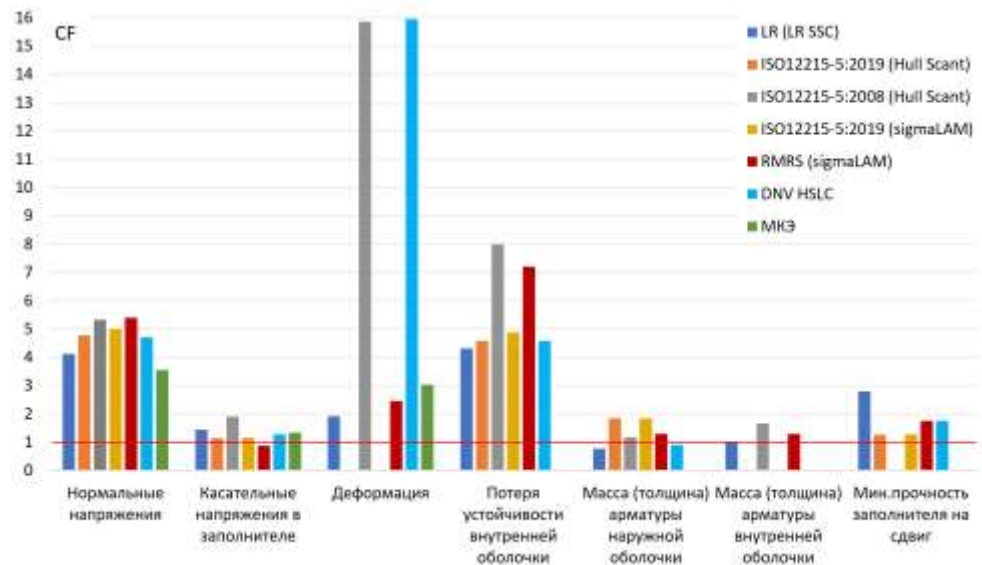


Рис. 3. Результаты расчетов (CF) трехслойной пластины борта размером 500×1000мм на давление 40кПа по различным методикам.

Расчет по LR SSC выполнен с использованием оригинальной программы и критериев, используемых этим КО. Прочностные характеристики материалов и коэффициенты запаса определены по внутренним формулам и требованиям LR SSC и составляют 0,33 - для бортовой обшивки в зоне слеминга.

Расчет по правилам РМРС на рис.2 выполнен «вручную», при этом пластины в расчете полагаются «квази-изотропными» с учетом подходов РМРС.

Расчет с использованием критериев РМРС в программе SigmaLAM выполнен с использованием методики, разработанной авторами. Прочностные характеристики материалов приняты по формулам из стандарта ISO12215-5:2019 с коэффициентом 0,95. Коэффициенты запаса по напряжениям для бортовой пластины, расположенной ниже ВЛ приняты для нормальных напряжений – 0,36, для касательных – 0,30

### **Особенности применения МКЭ для расчетов местной прочности**

Существуют специализированные программы МКЭ, предназначенные для работы с конструкциями из КМ. На рис.4 представлены результаты расчета бортовой пластины (из рис.2, 3) с использованием программы Strand7. Пластина защемлена по всем кромкам, слои представлены в виде ортотропной модели с использованием свойств материалов из ISO12215-5:2019. Для представления результатов использовались тензорные критерии напряжений и Цзя-Бу, а также сдвиговые напряжения в заполнителе и деформации. На рис.3 результаты расчета МКЭ приведены с коэффициентом запаса 0.33 для нормальных и касательных напряжений. Характерно, что МКЭ более достоверно учитывает геометрию пластины при расчете деформаций.

Можно отметить, что применение МКЭ для расчета местной прочности в большинстве случаев нецелесообразно (кроме случаев панелей сложной конфигурации, со значительной кривизной или естественными элементами жесткости) из-за высокой трудоемкости моделирования и расчета. Имеющиеся на



рынке программы МКЭ не позволяет оценивать критерии устойчивости оболочек и ряд других дополнительных критериев. Сложностью в РФ является требование «признания» программного обеспечения российскими КО – как правило, разработчики специализированных программ МКЭ композитов не заинтересованы в формальной сертификации своих программных продуктов.

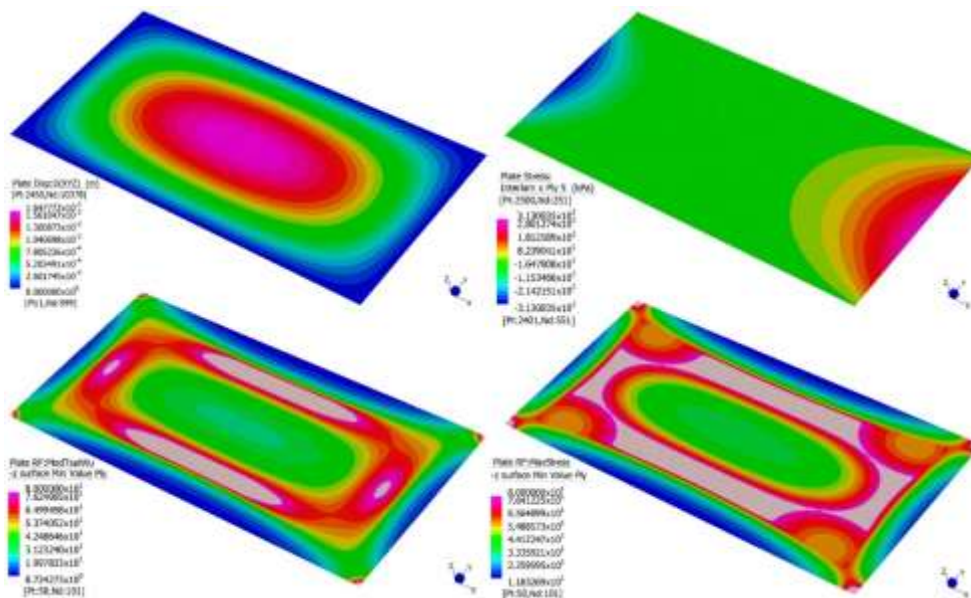


Рис. 4. Результаты расчета трехслойной пластины борта размером 500×1000мм на давление 40кПа с использованием МКЭ.

В целом, стандарт ISO12215-5:2019 и ряд КО позволяют де-факто снижать запасы прочности при использовании для расчетов МКЭ. Однако на практике какое-либо существенное снижение массы корпуса получить таким способом невозможно. В этих условиях, выглядит оправданной разработка программного обеспечения реализующего методику «пакетного» анализа и привязанного к требованиям конкретного КО.

#### **Анализ результатов и рекомендации по расчетам КМ**

Как видно из данных представленных на рис.2, абсолютные значения нормальных и касательных напряжений, вычисленные по методикам различных КО, в том числе и с использованием программы SigmaLAM отличаются незначительно (например, для нормальных напряжений разница составляет всего 3%). Исключение составляют лишь напряжения посчитанные «вручную» по новой методике РМРС [16], где по нормальным напряжениям разница составляет 30%.

Результаты расчетов деформаций делятся на две группы, учитывающие влияние сдвига на деформацию и не учитывающие. При этом видно, что для рассматриваемого примера, влияние сдвига на деформацию существенно.

Анализ результатов расчета абсолютных напряжений и деформаций дает необходимую базу для сравнения методик. Как видно из рис.2, все «устоявшиеся» методики расчетов дают весьма близкие результаты, а имеющиеся расхождения могут быть объяснены.

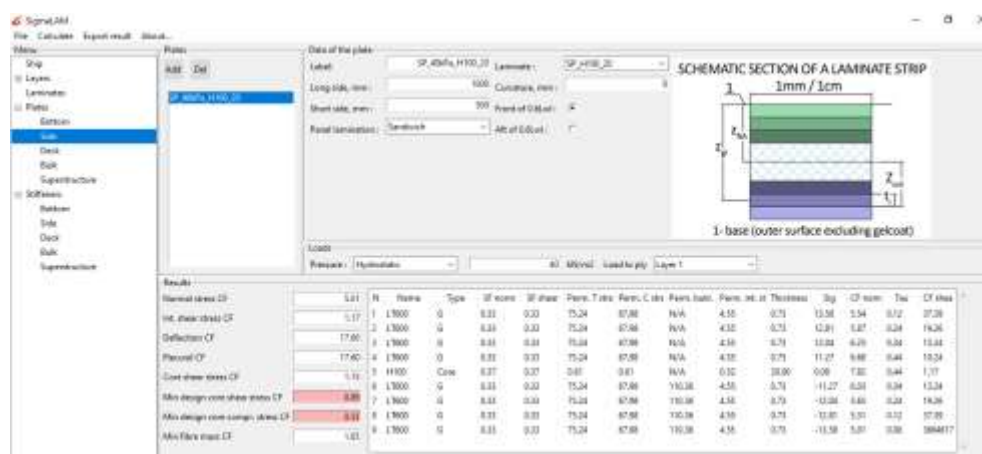


Рис. 5. Окно расчета программы SigmaLAM по критериям PMPC

Наибольший практический интерес представляет анализ результатов оценки соответствия критериям прочности пластины в виде CF по разным правилам. Оказывается (и это подтверждено инженерной практикой), что одна и та же пластина при расчете на одну и ту же нагрузку «проходит» по одним правилам, и «не проходит» по другим (рис.3). Наиболее часто несоответствие возникает из-за дополнительной группы критериев – толщин или массы ламината оболочек или минимальных свойств заполнителя.

Так, рассматриваемая пластина удовлетворяет всем критериям по ISO12215-5:2019. При попытке расчета этой же пластины по LR SSC она легко удовлетворяют критериям напряжений, но «не проходит» по критериям минимальной массы арматуры оболочек, что является следствием довольно жесткого нормирования этого критерия в LR SSC. Указанное нормирование затрудняет применение LR SSC для судов сверхлегкой конструкции и судов длиной до 15м.

На рис.3 также можно отметить близкое совпадение по фактору CF для критерия потери устойчивости внутренней оболочки, для разных методик. «Выпадает» из этой группы расчет в SigmaLAM по критериям PMPC, где используется формула (1) и обратный коэффициент запаса 1,5 по устойчивости из [16] (у остальных рассмотренных КО этот коэффициент составляет 3,0). Заметим также, коэффициент 1,5 используется и в правилах PPP [17]. Также, различия заметны в расчете по ISO12215-5:2008, где используется формула (1), но коэффициент запаса относится к прогулочным судам.

Значительный разброс наблюдается в CF и для основных критериев. Например, для нормальных напряжений, рассчитанных по методикам различных КО, разница с CF составляет 31%, что обусловлено различиями методик определения предела прочности материалов и величин допускаемых напряжений.

Выполненные авторами расчеты для других пластин серии показывают, что для высоконагруженных пластин определяющим критерием часто оказывается прочность на сдвиг материала заполнителя. Результаты также свидетельствуют, что критерии потери устойчивости оболочек удовлетворяются с большим запасом для подавляющего большинства реальных конструкций, за исключением, пожалуй, конструкций со сверхтонкими оболочками.

### Заключение

Развитие компетенций в области проектирования и постройки судов из КМ связано с разработкой методик расчета таких судов, а также созданием программного обеспечения, позволяющего реализовывать эти методики. В настоящее время назрела

острая необходимость совершенствования имеющейся нормативной базы РФ для обеспечения внутреннего рынка качественными судами отечественной постройки, не уступающим зарубежным аналогам. Одним из шагов в этом направлении является разработка авторами статьи программы SigmaLAM (рис.5), позволяющей выполнять оценку местной прочности судовых конструкций из КМ по критериям РМРС и в перспективе - PPP. Немаловажным преимуществом программы является параллельная оценка прочности с использованием методики и критериев ISO12215-5, что дает проектировщику дополнительную возможность верифицировать полученные результаты на этапе совершенствования отечественных правил. Экспериментальное применение программы SigmaLAM для ряда тестовых расчетов (в том числе, приведенных в настоящей статье) и проектов судов доказывает ее эффективность и достоверность получаемых результатов.

#### Список литературы

1. Allen H.G. Analysis and design of structural sandwich panels/ H.G. Allen// Pergamon Press, 1969.
2. DNV-GL Standard 0342 – Craft. DNV, 2016.
3. Guidelines for Commercial Craft. VTT. Version 2016-2.
4. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.
5. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.
6. Kamath P., Nazarov A. Design and Construction of SM16 Fast Interceptor Craft: Case Study /P. Kamath , A. Nazarov. //WARSHIP 2013: Minor Warships – 12-13 June 2013, Bath, UK – p.131-139.
7. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches/ A. Nazarov // 4nd Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
8. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd’s Register, 2020.
9. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. IRS, 2021.
10. Rules and Guidance notes. Hull in Composite Materials and Plywood, Material Approval, Design Principles, Construction and Survey, BV, 2018
11. Rules for Building and Classing. High Speed Craft, ABS, 2022
12. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. German Lloyd, 2012.
13. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV, 2021.
14. Корпуса и корпусные конструкции из стеклопластика. Правила проектирования и методические указания по расчетам прочности. РД5.1186-90
15. Назаров А.Г. Подходы к оценке прочности и расчетные нагрузки для маломерных рыболовных судов / А.Г. Назаров// IX Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», с.122-129, Калининград, 2021.
16. Правила классификации и постройки морских судов. Российский Морской Регистр Судоходства, 2022.
17. Правила классификации и постройки судов. Российский Речной Регистр, 2022.

#### References

1. Allen H.G. Analysis and design of structural sandwich panels/ H.G. Allen// Pergamon Press, 1969.
2. DNV-GL Standard 0342 – Craft. DNV, 2016.
3. Guidelines for Commercial Craft. VTT. Version 2016-2.
4. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.
5. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.

6. Kamath P., Nazarov A. Design and Construction of SM16 Fast Interceptor Craft: Case Study /P. Kamath , A. Nazarov. //WARSHIP 2013: Minor Warships – 12-13 June 2013, Bath, UK – p.131-139.
7. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches/ A. Nazarov // 4nd Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
8. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd’s Register, 2020.
9. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. IRS, 2021.
10. Rules and Guidance notes. Hull in Composite Materials and Plywood, Material Approval, Design Principles, Construction and Survey, BV, 2018
11. Rules for Building and Classing. High Speed Craft, ABS, 2022
12. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. German Lloyd, 2012.
13. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV, 2021.
14. Korpusa i korpusnye konstrukcii iz stekloplastika. Pravila proektirovaniya i metodicheskie ukazaniya po raschetam prochnosti [Hulls and hull structures in fiberglass. Rules for design and methofical guidelines on calculations of strength] RD5.1186-90
15. Nazarov A.G. Podhody k ocenke prochnosti i raschetnye nagruzki dlya malomernyh rybolovnyh sudov[Approaches to assessment of strength and design loads for small fishing ships] / A.G. Nazarov// IX Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoj industrii», s.122-129, Kaliningrad, 2021.
16. Pravila klassifikacii i postrojki morskih sudov.[Rules of classification and construction of marine ship] Rossijskij Morskoj Registr Sudohodstva, 2022.
17. Pravila klassifikacii i postrojki sudov. [Rules of classification and construction of ship] Rossijskij Rechnoj Registr, 2022.

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

**Назаров Альберт Георгиевич**, к.т.н., FRINA, CEng, MSNAME, директор, конструкторское бюро "Albatross Marine Design", Таиланд; «АН Марин Консалтинг», Россия, email: an@amdesign.co.th

**Albert G. Nazarov**, Cand Sci (Tech), FRINA, CEng, MSNAME, director, design bureau «Albatross Marine Design», Thailand; «AN Marine Consulting», Russia, email: an@amdesign.co.th

**Королев Сергей Александрович**, инженер-конструктор «АН Марин Консалтинг», Россия, email: s\_a\_korolev@mail.ru

**Sergei A. Korolev**, design engineer «AN Marine Consulting», Russia, email: s\_a\_korolev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.  
Received 29.06.2022; published online 20.12.2022.