

УДК 629.12

**Королев Сергей Александрович**<sup>1</sup>, инженер-конструктор  
e-mail: s\_a\_korolev@mail.ru

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

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ SIGMALAM

*Аннотация.* Рассмотрены современные подходы к расчетам местной прочности конструкций, изготовленных из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Представлена программа для расчета местной прочности конструкций малых судов, изготовленных из ПКМ - SigmaLam. Проведен сравнительный анализ результатов расчета конструкций из ПКМ на соответствие требованиям различных классификационных обществ и стандартов.

*Ключевые слова:* малые суда, композиционные материалы, проектирование судов, местная прочность.

ПКМ в отличие от традиционно используемых в судостроении алюминия и стали, являются анизотропными материалами, что требует иных подходов к проектированию и расчетам конструкций из них. При этом ПКМ образуются в процессе постройки судна, что обуславливает зависимость прочностных характеристик ПКМ от технологии постройки. Для решения задачи автоматизации расчетов прочности конструкций из ПКМ, была проведена работа по систематизации и имеющихся методик расчетов, разработке программного обеспечения SigmaLAM и верификации полученных результатов.

### Подходы к расчетам прочности конструкций из ПКМ

В настоящее время основными подходами при расчетах прочности конструкций из ПКМ являются:

- Квази-изотропный – основан на представлении свойств ПКМ как изотропных и применяется для расчета конструкций из однослойных ПКМ, со свойствами близкими к изотропным.
- Пакетный анализ ламинатов – элементы конструкций (пластины и балки) моделируются в виде «пакета» материалов, прочностные характеристики которого определяются.
- Классическая теория ламинатов - элементы конструкций (пластины и балки) моделируются аналогично предыдущему методу, что позволяет получить более достоверные результаты при расчете несбалансированных ПКМ.
- Метод конечных элементов - основан на моделировании конструкции в виде множества элементов, с последующим определением прочностных характеристик.

### Программа SigmaLam

Программа SigmaLam разработана для расчетов местной прочности судовых конструкций из ПКМ. Она позволяет оценивать конструкции на соответствие требованиям различных классификационных обществ и стандартов. При этом расчеты можно выполнять как для ПКМ с заранее известными механическими свойствами, так и для ПКМ, смоделированных в самой программе, свойства которых рассчитываются. На

сегодняшний день программа имеет сертификаты соответствия Российского морского регистра судоходства (РМРС) и Российского классификационного общества (РКО), а также позволяет оценить конструкции из ПКМ на соответствие стандарту ISO. Принципиальная схема программы приведена на рис. 1.

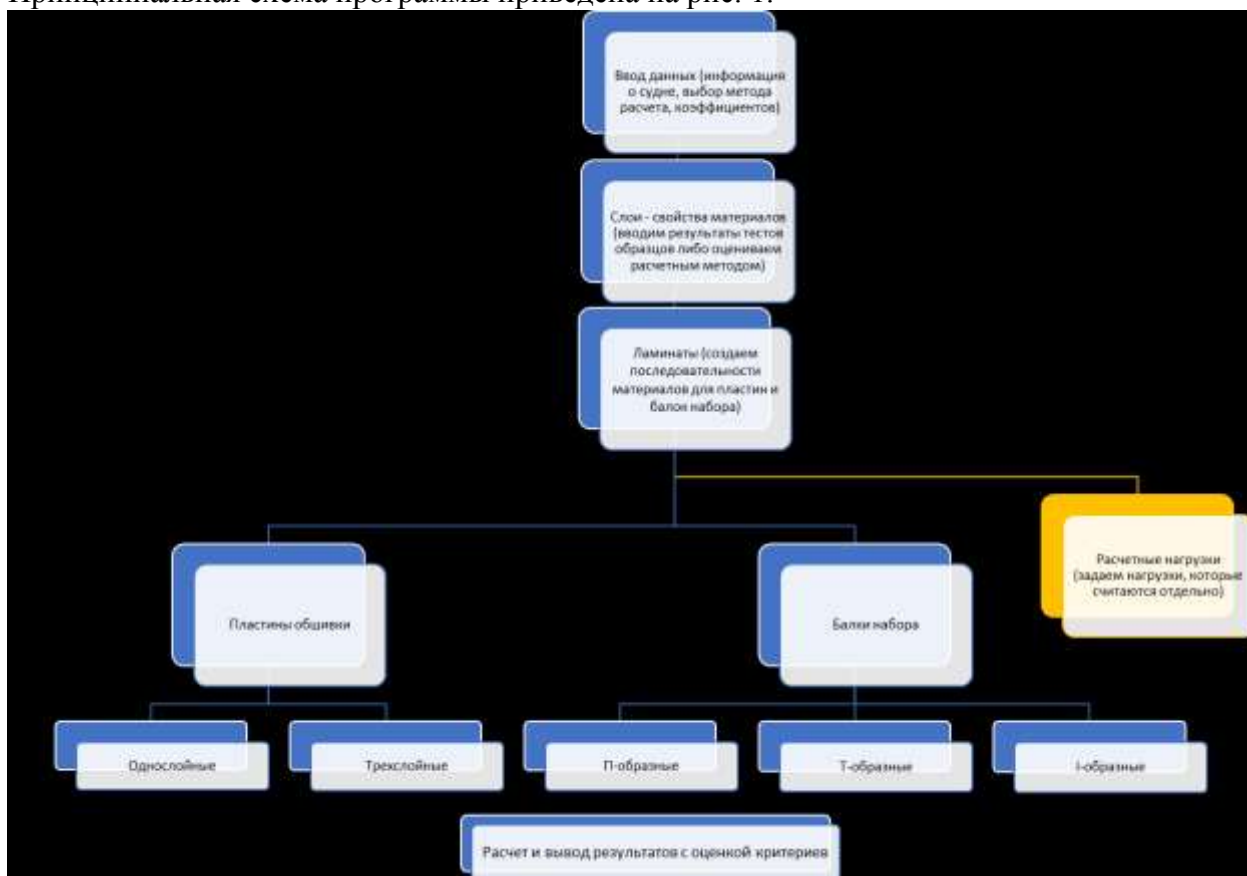


Рисунок 1 – Принципиальная схема программы SigmaLam

### Сравнительный анализ результатов расчета местной прочности конструкций из ПКМ на соответствие требованиям различных классификационных обществ

Для сравнения прочности конструкций из ПКМ, были выполнены расчеты в соответствии с требованиями правил различных классификационных обществ и стандартов, с использованием программ, одобренных этими классификационными обществами. Для расчета были выбраны элементы конструкций, расположенные в различных частях корпуса судна. На рис. 2, приведен результат расчета бортовой пластины, в виде коэффициента соответствия (CF)

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

В результате сравнительного анализа показано, что результаты расчета полученные с помощью программы SigmaLam (для критериев РМРС) сопоставимы с результатами, полученными при расчетах на соответствие другим классификационным обществам и стандартам.

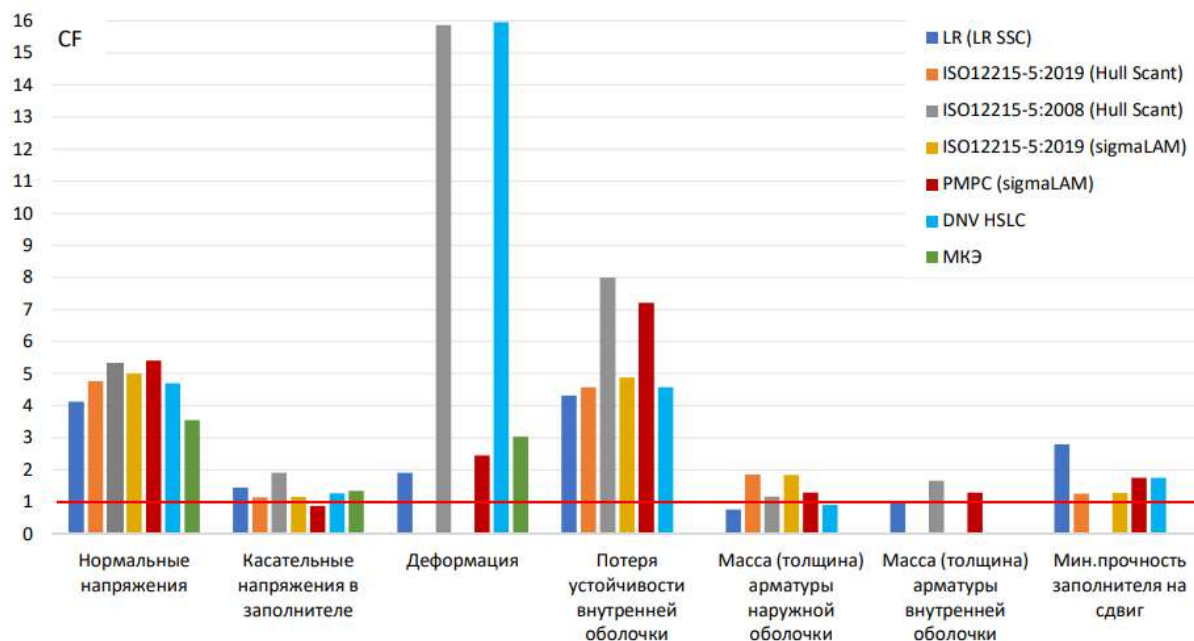


Рисунок 2 – Результаты расчета (CF) в соответствии с методиками различных классификационных обществ, на примере расчета бортовой пластины 1000x500 мм.

### Заключение

Ввиду того, что снижение массы корпуса и стоимости его обслуживания является одним из направлений повышения эффективности эксплуатации судов, применение конструкций из ПКМ является неотъемлемой частью развития судостроения. В связи с этим, развитие методов расчета прочности конструкций и их автоматизация, будут способствовать дальнейшему расширению применения ПКМ в судостроении.

### Список литературы:

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов. Российский морской регистр судоходства, 2022.
2. Королев С.А., Назаров А.Г. Сравнительный анализ критериев местной прочности судовых конструкций из композиционных материалов // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. - №73(4). – С.45-56
3. Королев С.А., Назаров А.Г. Автоматизация расчетов прочности судовых конструкций из композиционных материалов // Судостроение. – 2023. - №2. – С.23-29

## FEATURES OF CALCULATING THE STRENGTH OF FRP STRUCTURES USING THE SIGMALAM PROGRAM

Sergei A. Korolev

*Abstract.* Approaches to calculating the strength of FRP structures are considered. SigmaLam – is the program for calculating the local strength of FRP structures. A comparative analysis of the results of the calculation of FRP structures for compliance with the requirements of various classification societies and standards is carried out.

*Keywords:* small craft, composite materials, ship design, local strength.