



ОЦЕНКА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА СУДНА, НАБРАННЫХ ПО ПРАВИЛАМ РМРС И РКО

А. С. Ариенчук, студент

e-mail: alexey.arienchuk@gmail.com

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»



Д. А. Романюта

ведущий инженер отраслевой лаборатории эксплуатационной
прочности промышленных судов научно-исследовательского центра
судостроения

e-mail: dmitrij.romanyuta@klgtu.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»



А. И. Князева, студентка

e-mail: annait055@gmail.com

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В статье рассмотрен вопрос запасов прочности, формируемых при проектировании конструкций корпусов судов согласно требованиям правил РМРС для малых промысловых судов и РКО. На примере малого рыболовного судна спроектированы два варианта конструкций корпуса. Произведено сравнение размеров связей полученных конструкций. На примере одного из отсеков судна выполнены проверочные расчеты прочности основных перекрытий отсека методом конечных элементов. Проиллюстрирован сравнительный анализ запасов прочности по отношению к допускаемым напряжениям, заложенным в соответствующих правилах.

Ключевые слова: конструкция корпуса, МКЭ, Fетар, запас прочности, сравнительный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в научно-исследовательском центре судостроения (НИЦС) ФГБОУ ВО «КГТУ» ведется проектирование малого рыболовного судна (далее – МРС) для Калининградской области. Основные технические характеристики судна представлены в таблице 1. Предполагается, что судно будет поднадзорно Российскому морскому регистру судоходства.

Проектирование конструкции корпуса судна осуществлялось согласно требованиям правил Российского морского регистра судоходства для малых морских рыболовных судов (далее – РМРС) [1]. По результатам расчета и выбора всех размеров связей корпуса возникло

предположение, что их прочность окажется избыточной. Предположение основано на том, что расчетные формулы, представленные в [1], носят упрощенный и обобщенный характер, и не могут в полной мере учесть всех особенностей конструкции судна. По этой причине в данных формулах должен быть учтен достаточный запас прочности, который может быть проверен и оптимизирован на последующей стадии проверочного расчета прочности выбранной конструкции корпуса судна.

Таблица 1 – Основные технические характеристики судна

Длина наибольшая, м	12,2
Длина по КВл, м	12,0
Ширина наибольшая, м	3,80
Ширина по КВл, м	3,80
Осадка по КВл, м	0,85
Высота борта на миделе, м	1,7
Мощность ГД, кВт	75,8
Эксплуатационная скорость, уз	8
Материал корпуса	Сталь нормальной прочности

Таким образом, цель работы сводится к оценке запаса прочности связей, полученных в результате проектирования конструкции корпуса МРС согласно [1]. Рассматривая задачу с такой точки зрения, представляется интересным также оценить запас прочности связей, набранных согласно требованиям правил Российского Классификационного Общества (далее – РКО). Тем самым появится дополнительная возможность сравнить полученные размеры связей для одного судна, набранные по двум разным источникам правил.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования рассматриваются запасы прочности связей, полученных в результате проектирования конструкции корпуса судна согласно правилам РМРС и РКО.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы: оценить запасы прочности связей, набранных по правилам РМРС и РКО.

Задачи:

1. Спроектировать конструкцию корпуса судна по правилам РМРС.
2. Спроектировать конструкцию корпуса судна по правилам РКО.
3. Выполнить проверочный расчет прочности конструкции корпуса, набранного по правилам РМРС.
4. Выполнить проверочный расчет прочности конструкции корпуса, набранного по правилам РКО.
5. Определить и оценить запасы прочности спроектированных конструкций.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе работы использованы такие методы, как описание, сравнение, анализ, обобщение и моделирование.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проектирование конструкции корпуса МРС выполнено согласно требованиям [1] и [2].

МРС разделено водонепроницаемыми переборками на несколько отсеков: форпик, кубрик, трюм, машинное отделение и ахтерпик. Для выполнения проверочных расчетов прочности и определения коэффициентов запаса прочности принято решение рассмотреть помещение кубрика со всеми основными корпусными перекрытиями: палуба, борт, днище и две переборки. Эскизы каждого перекрытия представлены на рисунках 1–5.

Толстыми пунктирными линиями с двумя точками показаны рамные соединения, тонкими линиями отмечены холостые соединения.

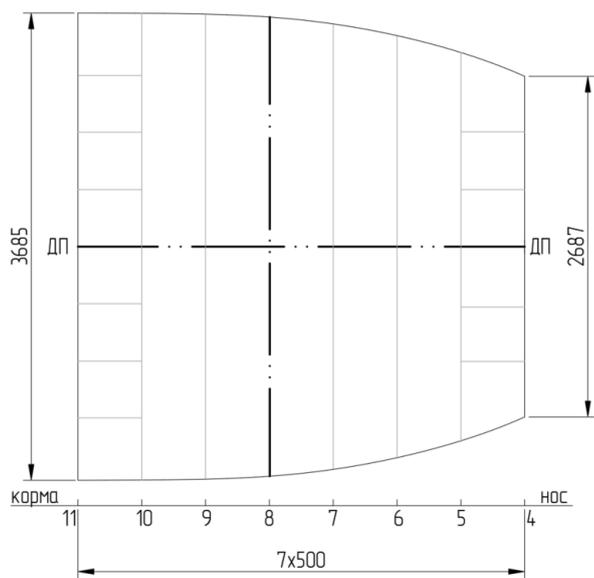


Рисунок 1 – Эскиз днищевое перекрытия

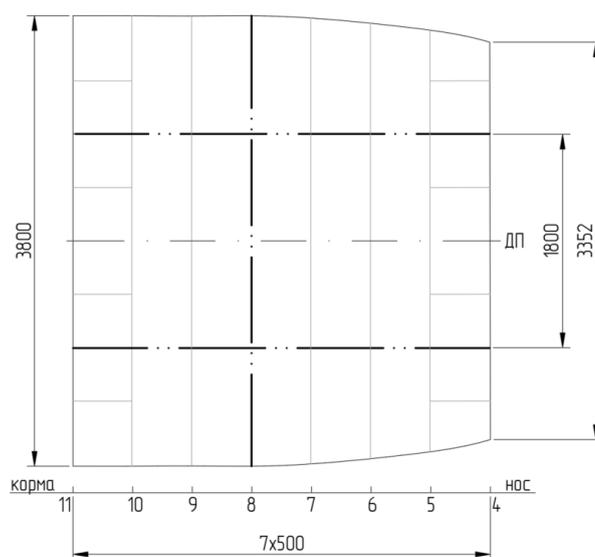


Рисунок 2 – Эскиз палубного перекрытия

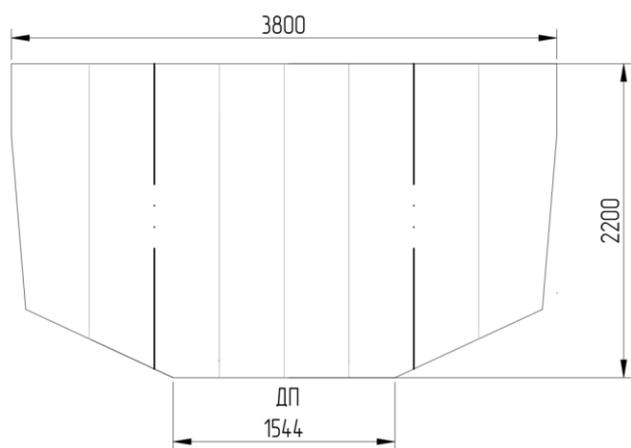


Рисунок 3 – Эскиз переборки на 11 шп.

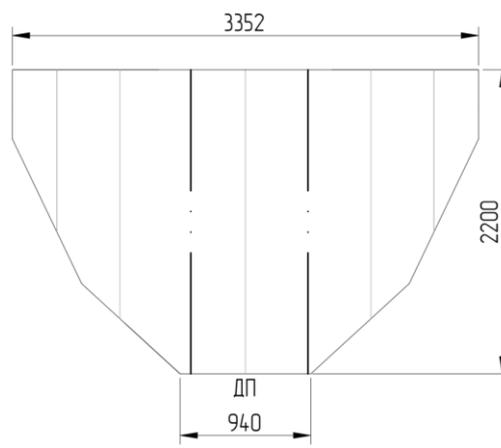


Рисунок 4 – Эскиз переборки на 4 шп.

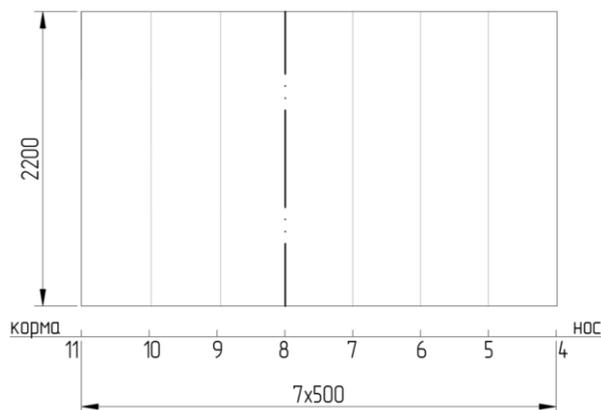


Рисунок 5 – Эскиз бортового перекрытия

В таблице 2 представлен результат расчета конструкции корпуса МРС согласно правилам РМРС, в таблице 3 – согласно правилам РКО. Значения расчетного и принятого моментов сопротивлений указаны с учетом присоединенного пояска.

Таблица 2 – Результат расчета элементов конструкции кубрика согласно правилам РМРС

Наименование перекрытия	Наименование элемента	Расчетный момент сопротивления, см ³ / толщина, мм	Принятый момент сопротивления, см ³ / толщина, мм	Выбранный профиль
Палуба	Рамный бимс	64,7	90,2	Тавр № 14
	Рамный карлингс	56,7	60,4	Тавр № 12
	Холостой бимс	18,5	22,7	Полособульб № 8
	Настил	6	6	-
Борт	Рамный шпангоут	21,1	26,8	Тавр № 8
	Холостой шпангоут	6,17	7,20	Полособульб № 5
	Обшивка	6	6	-
Днище	Днищевой стрингер	128	162	Тавр № 16б
	Днищевой рамный шпангоут	104	107	Тавр № 16а
	Днищевой холостой шпангоут	8,32	12,7	Полособульб № 6
	Обшивка	8	8	-
Поперечная переборка на 4 шп.	Рамная стойка переборки	34,6	41,9	Тавр № 10
	Холостая стойка переборки	11,1	12,8	Полособульб № 6
	Обшивка	6	6	-
Поперечная переборка на 11 шп.	Рамная стойка переборки	34,6	41,9	Тавр № 10
	Холостая стойка переборки	11,1	12,8	Полособульб № 6
	Обшивка	6	6	-

Таблица 3 – Результат расчета элементов конструкции кубрика согласно правилам РКО

Наименование перекрытия	Наименование элемента	Расчетный момент сопротивления, см ³ / толщина, мм	Принятый момент сопротивления, см ³ / толщина, мм	Выбранный профиль
1	2	3	4	5
Палуба	Рамный бимс	122	172	Тавр № 16б
	Рамный карлингс	105	106	Тавр № 16а
	Холостой бимс	5,99	7,51	Полособульб № 5
	Настил	6	6	-
Борт	Рамный шпангоут	67,0	82,7	Тавр № 14
	Холостой шпангоут	17,7	17,8	Полособульб № 7
	Обшивка	6	6	-
Днище	Днищевой стрингер	199	230	Тавр № 18а
	Днищевой рамный шпангоут	199	220	Тавр № 18б
	Днищевой холостой шпангоут	7,83	12,7	Полособульб № 6
	Обшивка	5	5	-
Поперечная переборка на 4 шп.	Рамная стойка переборки	50,1	60,1	Тавр № 12

1	2	3	4	5
	Холостая стойка переборки	15,0	16,2	Полособульб № 6
	Обшивка	6	6	-
Поперечная переборка на 11 шп.	Рамная стойка переборки	50,1	60,1	Тавр №12
	Холостая стойка переборки	15,0	16,2	Полособульб № 6
	Обшивка	6	6	-

В таблице 4 представлено сравнение профилей и настилов одноименных связей, набранных по Правилам РМРС и РКО.

Таблица 4 – Сравнение профилей и настилов одноименных связей

Наименование связи	РМРС	РКО
Палубное перекрытие		
Рамный бимс	Тавр № 14	Тавр № 16б
Карлингс	Тавр № 12	Тавр № 16а
Холостой бимс	Полособульб № 8	Полособульб № 5
Настил палубы	Обшивка толщиной 6 мм	Обшивка толщиной 6 мм
Бортовое перекрытие		
Рамный шпангоут	Тавр № 8	Тавр № 14
Холостой шпангоут	Полособульб № 5	Полособульб № 7
Бортовая обшивка	Обшивка толщиной 6 мм	Обшивка толщиной 6 мм
Днищевое перекрытие		
Днищевой стрингер	Тавр № 16б	Тавр № 18а
Днищевой рамный шпангоут	Тавр № 16а	Тавр № 18б
Днищевой холостой шпангоут	Полособульб № 6	Полособульб № 6
Днищевая обшивка	Обшивка толщиной 8 мм	Обшивка толщиной 5 мм
Поперечная переборка на 4 шп.		
Рамная стойка переборки	Тавр № 10	Тавр № 12
Холостая стойка переборки	Полособульб № 6	Полособульб № 6
Обшивка переборки	Обшивка толщиной 6 мм	Обшивка толщиной 6 мм
Поперечная переборка на 11 шп.		
Рамная стойка переборки	Тавр № 10	Тавр № 12
Холостая стойка переборки	Полособульб № 6	Полособульб № 6
Обшивка переборки	Обшивка толщиной 6 мм	Обшивка толщиной 6 мм

Проверка прочности полученных конструкций (по Правилам РМРС и РКО) была выполнена методом конечных элементов с помощью программного обеспечения Femap with NX Nastran. Для этого была подготовлена расчетная модель, в которой элементы обшивки и полотнищ переборки были выполнены элементами типа Plate, а балки набора – балочными элементами типа Beam. Размер начальной расчетной сетки – 75 мм. Расчетная модель конструкции корпуса судна, набранного согласно Правилам РМРС, с сеткой представлена на рисунке 6.

В качестве материала всех элементов конструкции принята сталь нормальной прочности со следующими физико-механическими характеристиками:

1. Плотность – 7850 кг/м³.
2. Модуль Юнга – 2,1*10¹¹ Па.
3. Коэффициент Пуассона – 0,3.

Для проверки прочности полученных перекрытий отсека были заданы нагрузки, аналогичные тем, что рассматривались в правилах РМРС и РКО при проектировании соответствующих перекрытий. Нагрузка на палубу задавалась равномерно распределенной по

всей площади, согласно требованиям правил. Нагрузка на бортовое и днищевое перекрытие от воздействия моря задавалась в форме треугольника с максимальным значением на уровне днища. Нагрузка на переборку определялась из условия аварийного затопления отсека (в треугольной форме с максимальным значением также на уровне днища).

В качестве закреплений был принят вариант шарнирного закрепления бортовых и днищевых кромок переборок (закрепленные кромки показаны на рисунке 7).

На рисунках 8–11 представлены картины перемещений перекрытий, набранных по правилам РМРС, при приложении каждой из нагрузок в отдельности. Картины перемещений перекрытий, набранных по правилам РКО, выглядят схожим образом, поэтому в статье не представлены.

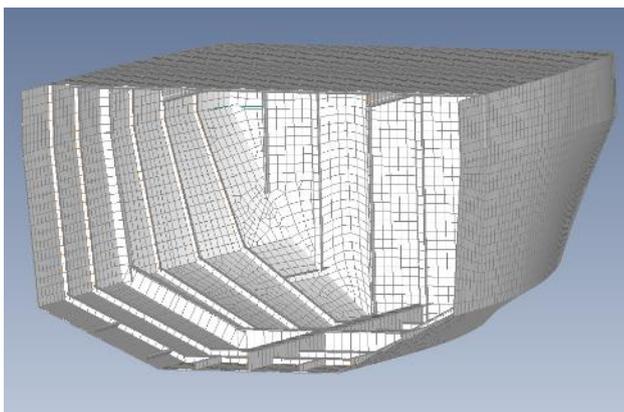


Рисунок 6 – Расчетная модель со скрытой переборкой на 11 шп.

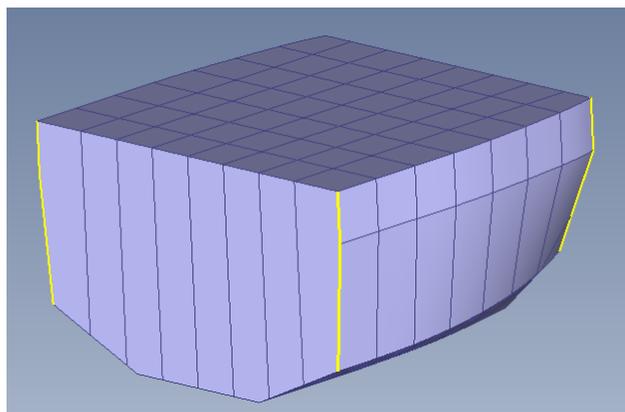


Рисунок 7 – Закрепления в расчетной модели

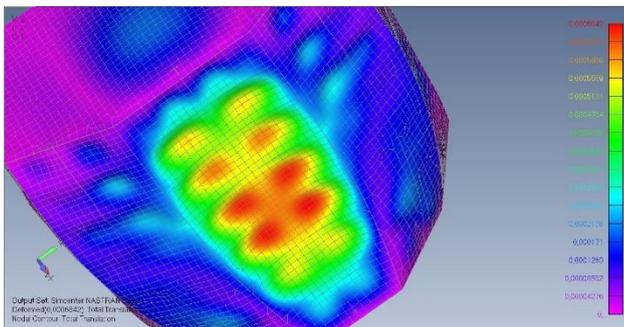


Рисунок 8 – Картина перемещений в днищевом и бортовом перекрытии

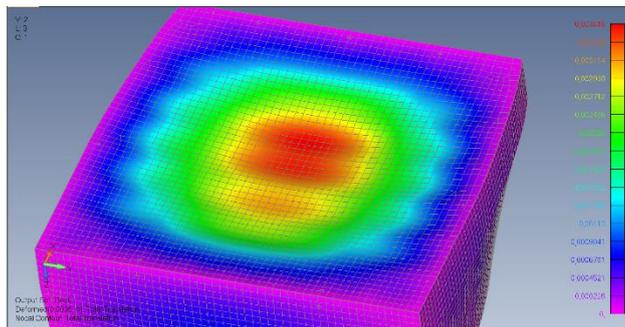


Рисунок 9 – Картина перемещений палубного перекрытия

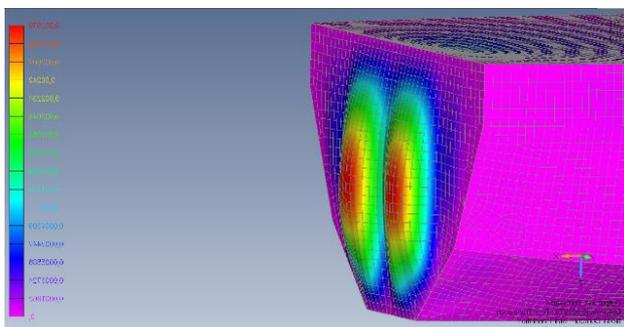


Рисунок 10 – Картина перемещений переборки на 4 шп.

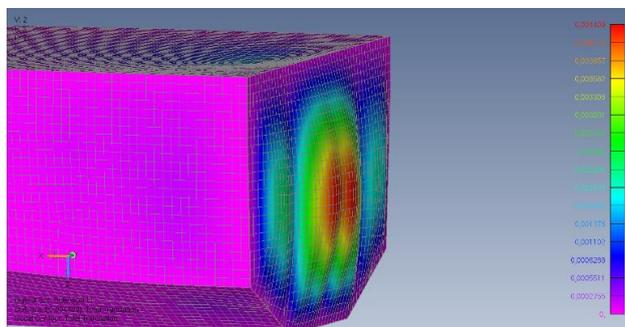


Рисунок 11 – Картина перемещений переборки на 11 шп.

После выполнения расчетов были определены максимальные значения напряжений во всех связях каждого перекрытия, набранных по правилам РМРС и РКО. Полученные значения максимальных напряжений сравнивались с допускаемыми напряжениями,

определенными для каждой связи каждого перекрытия. Допускаемые напряжения для балок и настилов по правилам РКО приведены в таблице 2.2.68 [2], допускаемые напряжения для балок по правилам РМРС учтены в формуле 2.3.1 [1]. Значения допускаемых напряжений для настилов по правилам РМРС для малых морских рыболовных судов не представлены. Результаты сравнения фактических и допускаемых напряжений представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение максимальных и допускаемых напряжений элементов перекрытий

Наименование перекрытия	Вид связи	Максимальное напряжение по расчету прочности, МПа	Допускаемое напряжение, МПа	Запас прочности
РКО				
Палубное	Рамный бимс	46,5	176	73,6
	Карлингс	51,2	176	70,9
	Холостой бимс	84,2	200	69,5
	Настил	14,7	188	92,2
Днищевое и бортовое	Рамный шпангоут	44,0	176	75,0
	Днищевой рамный шпангоут	53,9	176	69,3
	Днищевой стрингер	44,1	176	74,9
	Холостой шпангоут	76,3	200	61,8
	Днищевой холостой шпангоут	53,5	200	73,2
	Обшивка	11,7	188	93,7
Переборка 11 шп.	Рамная стойка переборки	85,0	200	57,5
	Холостая	126	200	37,0
	Обшивка	37,8	200	81,1
Переборка 4 шп.	Рамная стойка переборки	59,0	200	70,5
	Холостая	101	200	49,5
	Обшивка	51,2	200	74,4
РМРС				
Палубное	Рамный бимс	50,7	188	73
	Карлингс	49,9	188	73,4
	Холостой бимс	60,9	188	67,6
	Настил	98	-	-
Днищевое и бортовое	Рамный шпангоут	40,3	188	78,6
	Днищевой рамный шпангоут	52,4	188	72,1
	Днищевой стрингер	53,2	188	71,7
	Холостой шпангоут	66,6	188	64,6
	Днищевой холостой шпангоут	44,3	188	76,4
	Обшивка	84,4	-	-
Переборка 11 шп.	Рамная стойка переборки	68,5	188	63,5
	Холостая стойка переборки	140	188	25,53
	Обшивка	51,1	-	-
Переборка 4 шп.	Рамная стойка переборки	63,3	188	66,3
	Холостая	94,7	188	49,6
	Обшивка	51,1	-	-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализируя данные, представленные в таблице 5, можно сделать вывод, что элементы конструкции корпуса судна, набранные по правилам РКО, в подавляющем большинстве случаев (за исключением толщины днищевой обшивки и профиля холостого бимса) оказываются большими или сопоставимыми с соответствующими элементами конструкций, набранными по правилам РМРС для малых промысловых судов.

2. Согласно данным, представленным в таблице 5, запасы прочности основных связей (за исключением обшивки и настилов), набранных по правилам РКО, составляют от 37,0 до 73,6 %; для связей, набранных по правилам РМРС для малых промысловых судов, – от 46,8 до 78,6 %.

Оба вышеотмеченных вывода иллюстрируют тот факт, что связи, набранные по правилам РМРС и РКО, имеют большой запас прочности. Путем проверочного расчета прочности имеется возможность снизить принятые размеры профилей, тем самым можно существенно снизить массу металлического корпуса, его металлоемкость и, как следствие, снизить его строительную стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки малых морских рыболовных судов. Часть II Корпус [Электронный ресурс]. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=B5503F31-4ABB-4191-9A07-4B7CBF09099F&f=2-020101-181-2> (дата обращения: 16.10.2023).

2. Правила классификации и постройки судов (ПКПС) [Электронный ресурс]. URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PKPS-RKO.pdf?t=1697482028> (дата обращения: 16.10.2023).

EVALUATION OF SAFETY MARGINS OF SHIP HULL STRUCTURAL ELEMENTS ASSEMBLED ACCORDING TO RMRS AND RCO RULES

A. Arienchuk, student
e-mail: alexey.arienchuk@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

D. A. Romanyuta,
leading engineer of the Industry laboratory of operational strength of fishing vessels
of the Ship-building research center
e-mail: dmitrij.romanyuta@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

A. I. Knyazeva, student
e-mail: annait055@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

The article considers the question of strength reserves formed when designing ship hull structures according to the requirements of the RMRS Rules for small fishing vessels and RCOs. On the example of a small fishing vessel, two variants of hull structures have been designed. The sizes of connections of the received constructions have been compared. On the example of one of the compartments of the vessel, verification calculations of the strength of the main compartment floors by the finite element method are made. The comparative analysis of strength reserves in relation to allowable stresses laid down in the corresponding Rules has been illustrated.

Keywords: case design, FEM, Femap, safety margin, comparative analysis.