

УДК 629.5.023.242

## **ОЦЕНКА МЕТАЛЛОЁМКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕДОВОГО ПОЯСА ПРИ СМЕНЕ ЛЕДОВОГО КЛАССА IA FSR НА КЛАСС ARC4 RMPC**

**А.А. Петров**, заведующий отделом конструктивной надежности и защиты судов от коррозии

**М.С. Шилкина**, инженер 1 категории отдела конструктивной надежности и защиты судов от коррозии

Обозначена проблема выбора того или иного ледового класса при переходе судна в класс Российского морского регистра судоходства. Приведены результаты расчетов требуемых размеров ледовых усилений для двух эквивалентных ледовых классов на примере одного судна. На основании расчетов выполнено заключение о металлоемкости и предложен возможный вариант рационализации конструкции. Дополнительно приведен экономический анализ затрат на модернизацию корпуса при переклассификации судна в двух случаях компоновки конструкции. Подготовлена расчетная база для разработки универсального алгоритма сравнительной оценки металлоемкости конструкций ледового пояса судов ледового плавания, который может быть реализован при создании средства технического сопровождения переклассификации судов в части оценки финансовых затрат на модернизацию корпуса.

**Ключевые слова:** ледовый класс Российского морского регистра судоходства, переклассификация судов, ледовые усиления, модернизация корпуса, экономический анализ, универсальный алгоритм сравнительной оценки металлоемкости конструкций.

Российская Арктика – регион богатый своими ресурсами и перспективный с точки зрения транспортной логистики. Последнее время интерес к потенциалу и освоению Арктики неуклонно растёт, и, как следствие, увеличивается интенсивность судоходства на трассах Северного морского пути, что в свою очередь, ставит перед судовладельцами ряд дополнительных задач, связанных с эксплуатацией судна в ледовых условиях. Одной из таких задач является выбор и обоснование того или иного ледового класса в соответствии с предполагаемыми условиями эксплуатации судна и требованиями действующих нормативных документов.

Анализ соответствия судна ледовому классу выполняется на основании применимых частей Правил классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства (далее – РМРС) [1], в зависимости от ледового класса. Так, для судов арктических ледовых классов должны быть рассмотрены части II, III, IV, VII, VIII, IX, XIII [1]. Ежегодно выполняя 2-3 подобных

обоснования, специалистами института установлено, что в подавляющем большинстве случаев наибольшие финансовые затраты при модернизации судна приходятся на корпусные и сопутствующие работы<sup>1</sup>. При этом ключевым параметром, от которого зависит принятие решения о дальнейшей работе по присвоению ледового класса, является цена такой модернизации, поэтому ее определение на начальном этапе работы с судном – весьма актуальная и востребованная задача. Ее успешное решение невозможно без создания соответствующих программных инструментов, содержащих четкие алгоритмы оценки металлоемкости конструкций, охватывающие все ледовые классы и различные правила классификационных обществ.

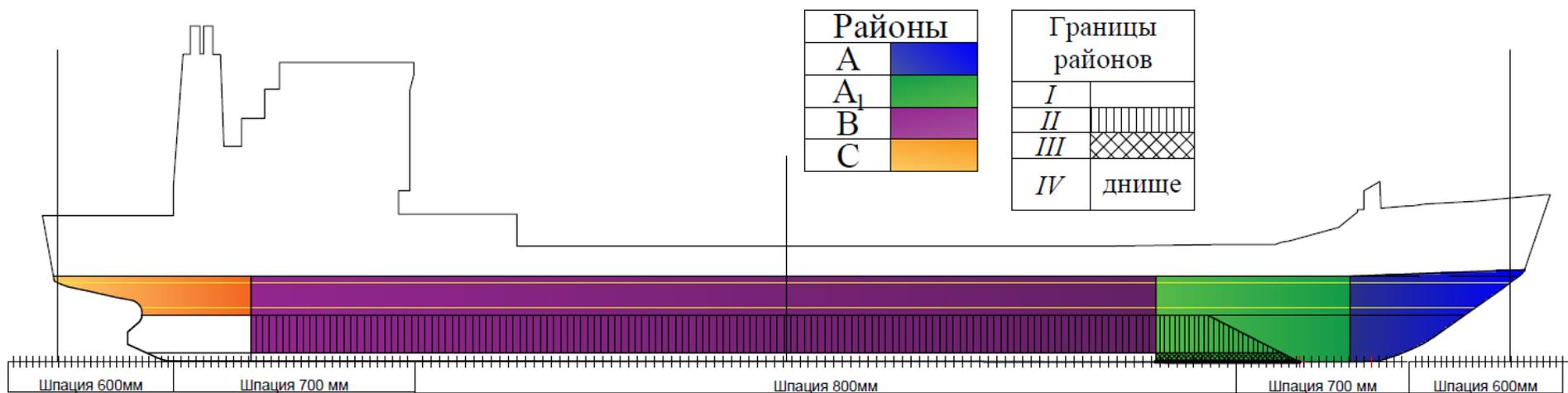
Целью данной работы является подготовка расчетной базы для создания универсального алгоритма сравнительной оценки металлоемкости конструкций ледового пояса судов ледового плавания. Основной задачей, позволяющей достичь поставленную цель, является оценка металлоемкости конструкций ледового пояса на примере одного судна.

Как показывает опыт АО «ЦНИИМФ», среди российских судовладельцев наиболее востребованными, с точки зрения ледовых качеств, на вторичном рынке грузового флота являются суда, имеющие ледовый класс Arc4 РМРС, или другой близкий ледовый класс, позволяющий за счет минимальной модернизации получить класс Arc4. Учитывая то, что большинство судов, приобретаемых российскими судовладельцами, переходят в класс РМРС из классов иностранных классификационных обществ-членов МАКО, классифицирующих суда ледового плавания по финско-шведским правилам (FSR – Finnish Swedish Rules), приблизительно эквивалентным классу Arc4 РМРС является ледовый класс IA FSR [2]. Эти два класса и будут рассмотрены в данной работе. Требования к корпусам судов ледового класса Arc4 приведены в гл. 3.10 Части II [1], ледового класса IA – в гл. 10 Части XVII [1]. В качестве объекта исследования выбран морской танкер дедвейтом 11 500 т, имевший с постройки ледовый класс IA FSR.

На первом этапе работы были определены требуемые размеры конструкций ледовых усилений по соответствующим частям Правил РМРС, для чего последовательно были идентифицированы районы ледовых усилений (рисунок 1), определены расчетные параметры ледовых нагрузок (рисунок 2) и рассчитаны требуемые толщины листовых элементов и геометрические характеристики балок набора. В рамках данной работы выполнялся проверочный расчет ледовой прочности, поэтому сравнивались значения требуемых толщин листовых элементов и требуемых площадей поперечного сечения балок набора, без подбора ближайших стандартных толщин листов и профилей балок.

---

<sup>1</sup> Редкие исключения составляют суда, не соответствующие требуемому ледовому классу по мощности главных механизмов или по характеристикам винто-рулевого комплекса (ВРК). В первом случае, как правило, дальнейшая работа по получению ледового класса нецелесообразна, во втором – возможна модернизация ВРК, в зависимости от характера несоответствий влекущая за собой дополнительные испытания движителя, объемные расчеты пропульсивного комплекса и мореходности и т.п.



а) - ледовый класс Arc4



б) - ледовый класс IA

Рисунок 1 – Районы ледовых усилений: а) – ледовый класс Arc4, б) – ледовый класс IA

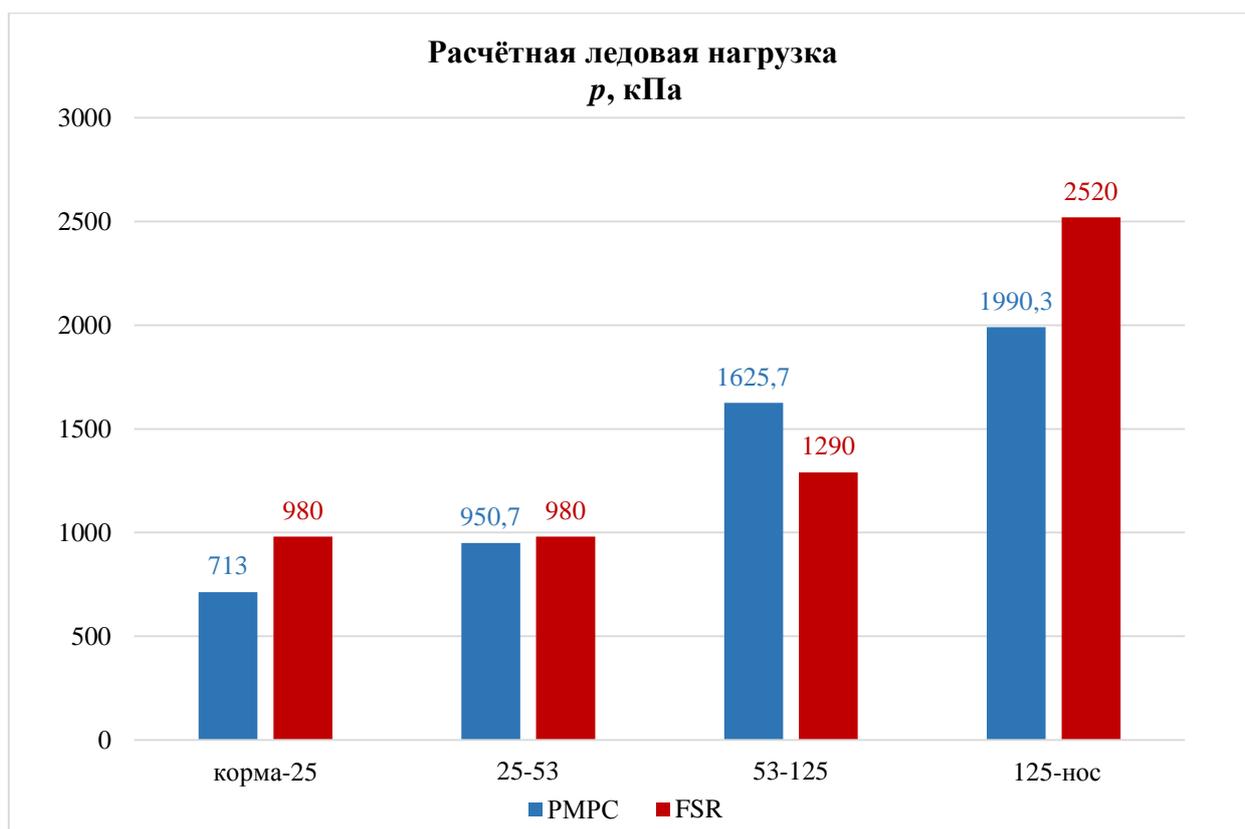


Рисунок 2 – Расчетные параметры ледовых нагрузок

Как видно из рисунка 1, распределение районов ледовых усилений класса Arc4 существенно отличается от класса IA. Кроме того, гл. 10 Части XVII [1] не регламентируются требования к листовым конструкциям, которые рассматриваются в гл. 3.10 части II [1]. Принимая это во внимание, для корректного сравнения металлоемкости конструкций ледового пояса двух ледовых классов было необходимо задаться значениями требуемых размеров ледовых усилений класса IA, не регламентированных гл. 10 части XVII [1]. В работе был предложен следующий подход к решению данной проблемы: в случае, если значение требуемого для класса Arc4 параметра конструкции было больше построечного, в качестве требуемого для класса IA принималось построечное значение. Если же значение требуемого для класса Arc4 параметра конструкции было меньше построечного, т.е. он определялся, вероятней всего, не из условия ледовой прочности, значения требуемых для двух разных классов параметров принимались одинаковыми (равными требуемым для класса Arc4), с целью исключения влияния такой конструкции на оценку металлоемкости ледового усиления. Алгоритм сравнения металлоемкости приведен на рисунке 3.

Сравнение металлоемкости конструкций ледового пояса, выполненное согласно рисунку 3 показало, что при исходной компоновке конструктивных элементов, общая масса требуемого металла ледового пояса ледового класса Arc4 перевешивает массу требуемого металла ледового класса IA на 50 тонн, что составляет 11,3 %, или 1,2 % от водоизмещения судна порожнем (рисунок 4).

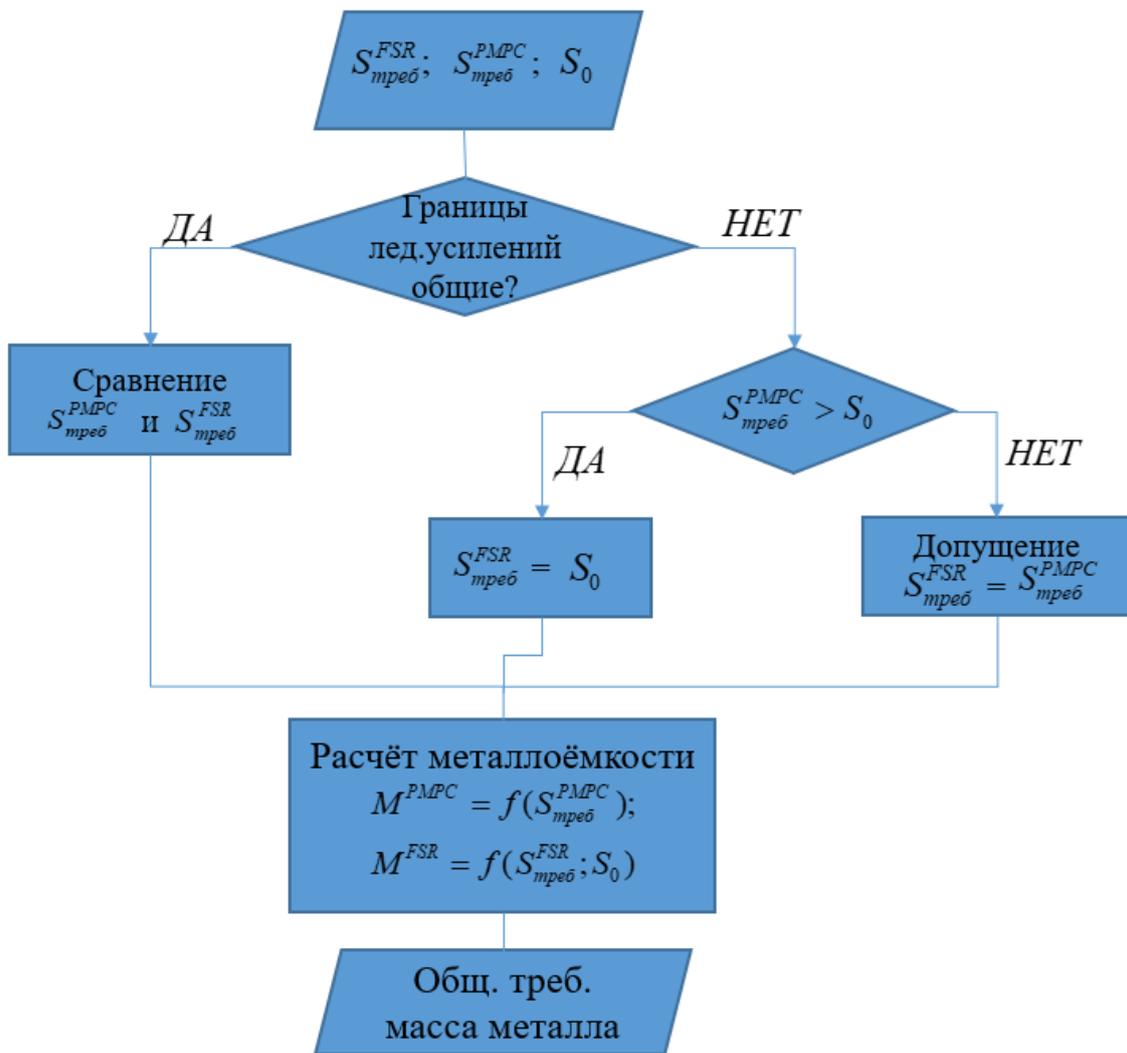


Рисунок 3 – Алгоритм сравнения металлоемкости

Общая масса требуемого металла ледовых усилений, т

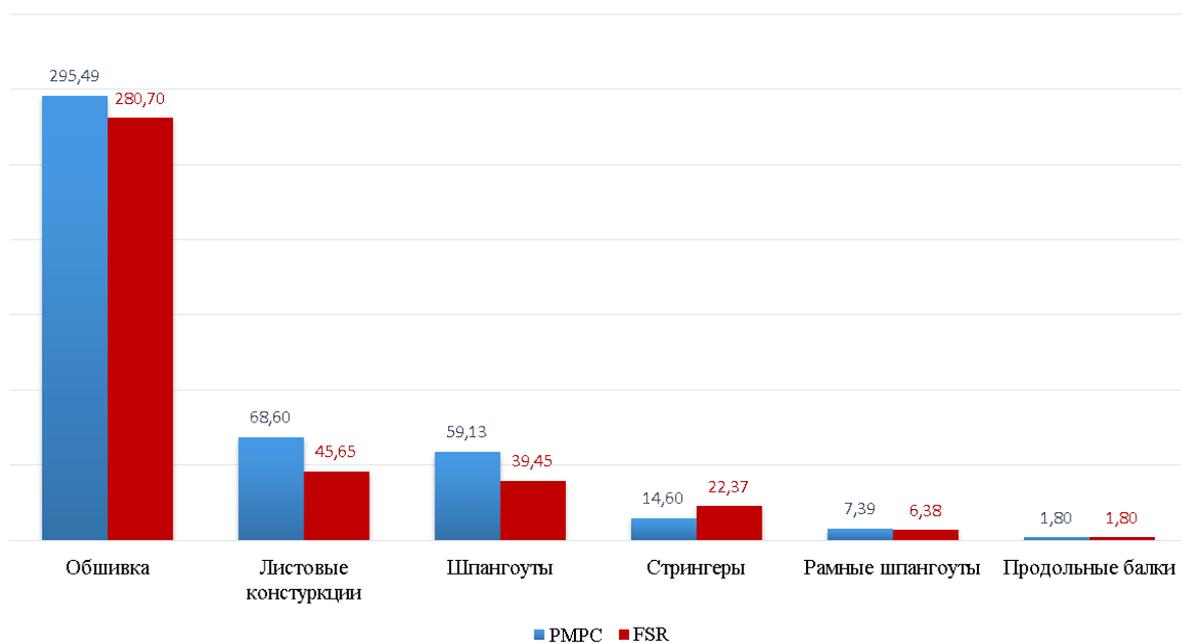


Рисунок 4 – Общая масса требуемого металла при исходной компоновке конструкции

Результаты, приведенные на рисунке 4, относятся к исходной компоновке конструктивных элементов, при этом наибольшая разница приходится на листы наружной обшивки, листовые конструкции и обыкновенные шпангоуты, находящиеся в районах, не регламентированных гл. 10 части XVII [1] (нижние пояся обшивки носовой оконечности). На практике, в подобных случаях целесообразно уменьшение требуемых размеров листов наружной обшивки за счет изменения практической шпации (установка дополнительных промежуточных балок). Эта мера позволяет решить две проблемы – уменьшить шпацию и сделать систему набора в данном районе поперечной, что более предпочтительно для судов ледового плавания. Кроме того, при определении требуемых размеров листовых конструкций (флоры, днищевые стрингеры и т.п.) для поперечной системы набора используются иные зависимости, дающие, при прочих равных исходных данных, как правило, меньшие значения требуемых толщин. В рассматриваемом примере было предложено подкрепление наружной обшивки промежуточными поперечными балками того же профиля, что и промежуточные шпангоуты, с фиксированным шагом  $0,5a$ , где  $a$  – проектная шпация (рисунок 5) (далее – рационализация конструкции).

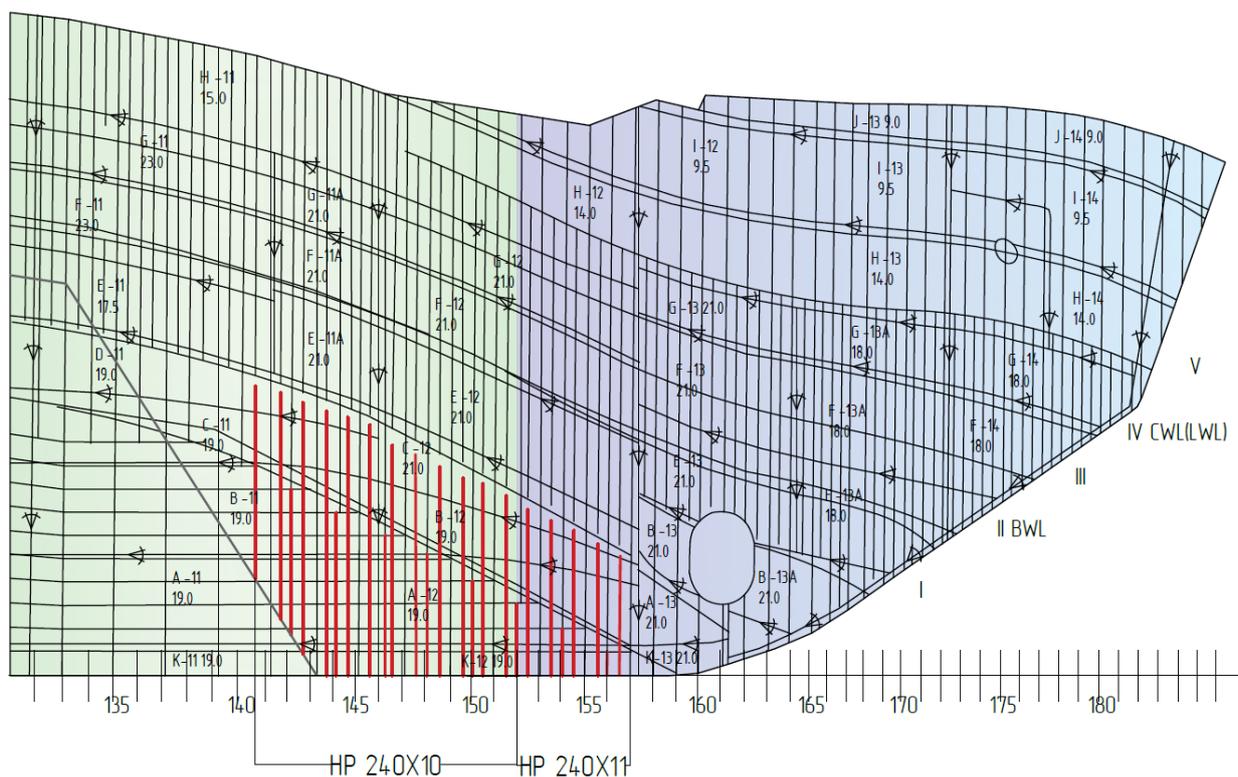


Рисунок 5 – Схема подкрепления днищевой обшивки

Выполнив повторный перерасчет требуемых размеров ледовых усилений с учетом района рационализации конструкции и сделав повторное сравнение результатов (включив в расчет металлоёмкости массу подкрепления), было получено, что масса ледовых усилений наружной обшивки и листовых конструкций, рассчитанных по Правилам РМРС, уменьшилась в 2,5 раза – общая масса требуемого металла ледовых усилений ледового класса Arc4 превышает требуемую массу для ледового класса IA на 20 тонн, что составляет 4,4 % или 0,5 % от водоизмещения судна порожнем (рисунок 6).

### Общая масса требуемого металла, т

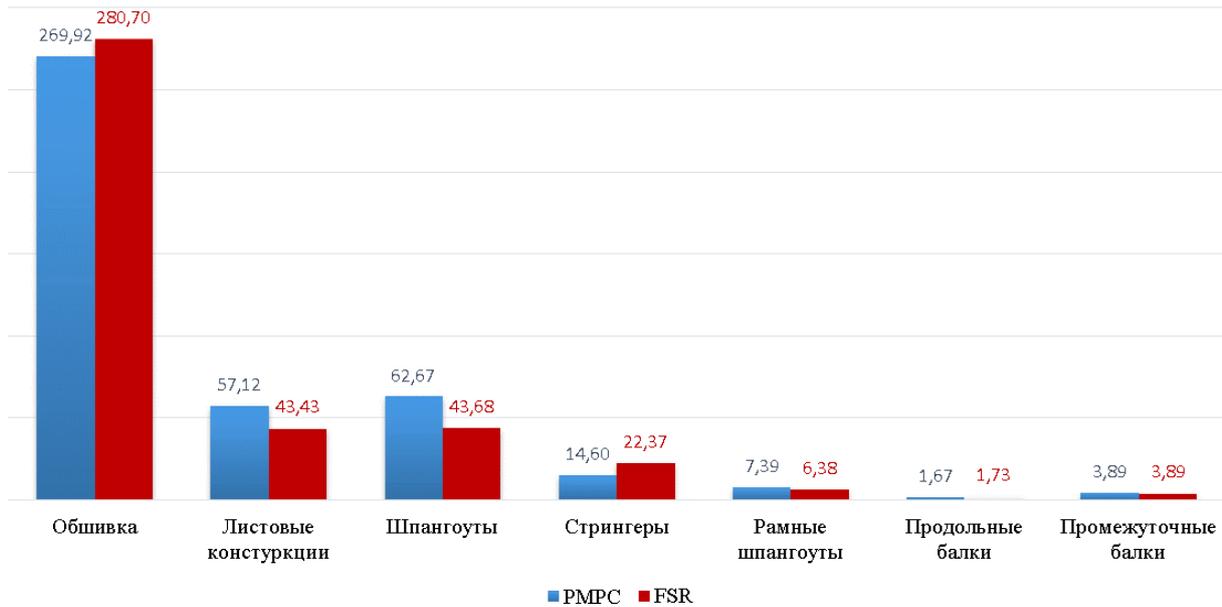


Рисунок 6 – Общая масса требуемого металла при рационализации конструкции

Как было сказано выше, основная цель выполнения оценки металлоемкости – оперативный анализ финансовых затрат на модернизацию корпуса, поэтому отдельно была рассмотрена экономическая оценка последствий выполнения работ по приведению корпуса в соответствие с ледовым классом Arc4 для двух случаев компоновки конструкции (рисунок 7). Средняя стоимость стандартной корпусной стали с учетом возможных работ по гибке, разделке и т.п. принималась равной 4,5 \$ США за 1 кг металла. Без рассмотрения возможности рационализации конструкции, стоимость корпусных работ по модернизации рассматриваемого судна для получения ледового класса Arc4 составляет 227 974,50 \$, при установке дополнительных поперечных балок – 69 831,00 \$.

Рисунок 7 наглядно демонстрирует необходимость вариативной проработки затрат на модернизацию корпуса: при рационализации конструкции издержки сокращаются более чем в 7 раз. При этом определение необходимости такой рационализации, равно как и получение относительно точных значений финансовых затрат, возможны только в результате выполнения соответствующих расчетов. В рамках решения конкретной задачи определения стоимости корпусных работ, требуемых для получения заданного ледового класса, выполненные в данной работе расчеты и оценки могут быть избыточными. Например, не было необходимости выполнять расчет требуемых размеров связей для класса IA, однако они необходимы для создания универсального многофункционального инструмента технического консалтинга при поиске, покупке и переклассификации судна, эксплуатационные особенности которого подразумевают наличие ледового класса.

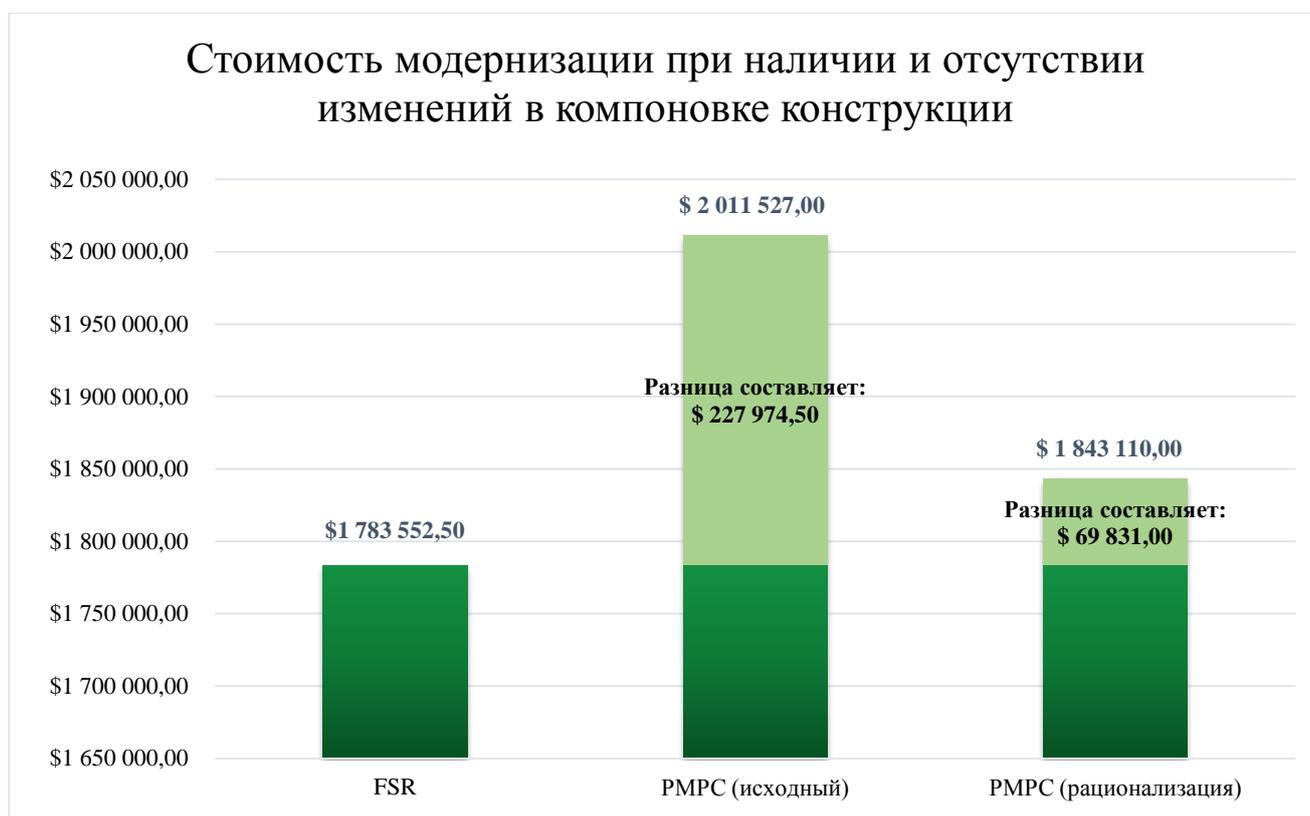


Рисунок 7 – Экономическая оценка последствий выбора того или иного ледового класса

### **Заключение**

Определение эксплуатационных возможностей и ограничений судна является важнейшим вопросом, возникающим перед судовладельцем при заказе нового или приобретении подержанного судна. Для работы в территориальных водах Российской Федерации, большинство из которых относятся к замерзающим морям, эта задача усложняется выбором/получением оптимального ледового класса судна.

Учитывая то, что большинство судов, приобретаемых российскими судовладельцами, имеют с постройки ледовый класс иностранного классификационного общества, при выборе такого судна для последующей переклассификации в РС, одним из ключевых вопросов является стоимость модернизации судна для получения требуемого ледового класса. Ввиду этого, возрастает роль проектных организаций не только на этапах переклассификации и дальнейшей эксплуатации судна, но и при его приобретении. Кроме того, многим судовладельцам в силу тех или иных причин может потребоваться «повысить» существующий ледовый класс, для чего также необходима предварительная оценка требуемых капиталовложений.

В рамках данной работы были выполнены расчеты требуемых размеров конструкций ледовых усилений для двух ледовых классов – Arc4 PMPC и IA FSR на примере одного судна с последующей оценкой металлоемкости конструкция ледового пояса. Предложенный алгоритм определения металлоемкости, рационализации конструкции и анализа экономических последствий ее выполнения

может быть реализован при создании средства технического сопровождения переклассификации судна в части оперативной оценки финансовых затрат на модернизацию корпуса для получения требуемого ледового класса.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Правила классификации и постройки морских судов: в 17 ч. – СПб.: РМРС, 2018
- 2 Международная ассоциация классификационных обществ. Символика классификации судов. Справочник. – СПб.: РМРС, 2015. – 84 с.