

УДК 629.5:539.3/4

С. Н. Гирин, к.т.н, профессор, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

И.Ю. Широков, студент, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИИ ШЕЛЬФА ГОФРИРОВАННОЙ ПЕРЕБОРКИ

Ключевые слова: гофрированная переборка, рамная балка, проставка, напряженное состояние, масса, протяженность сварных швов.

Рассматриваются различные варианты приварки рамной балки, расположенной поперек трапециевидных гофров, к гофрированной переборке. Приводятся поля нормальных напряжений рассматриваемых вариантов. Дается рекомендация по выбору варианта на основе сопоставления масс и протяженности сварных швов.

В расчетах прочности рамных балок, расположенных поперек гофров, возникает вопрос о величине присоединенного пояска гофрированной обшивки. В соответствии с Правилами Речного Регистра [1] в случае, если балка соединена с обшивкой на протяжении всей длины, ширина присоединенного пояска принимается равной 12 толщин обшивки, в противном случае ширина присоединенного пояска равна нулю.

На практике возможны различные конструктивные варианты соединения рамной балки с гофрированной обшивкой. Рассмотрим некоторые из наиболее распространенных вариантов для обшивки с трапециевидной формой гофров.

На рис.1 показан предусмотренный Правилами Регистра вариант с соединением балки и обшивки на всей длине. Очевидно, что такой вариант не технологичен, поскольку затруднена подгонка проставки к гофрам. Для горизонтальных шельфов переборок танкеров этот вариант не годится, поскольку не обеспечивает стекание груза.

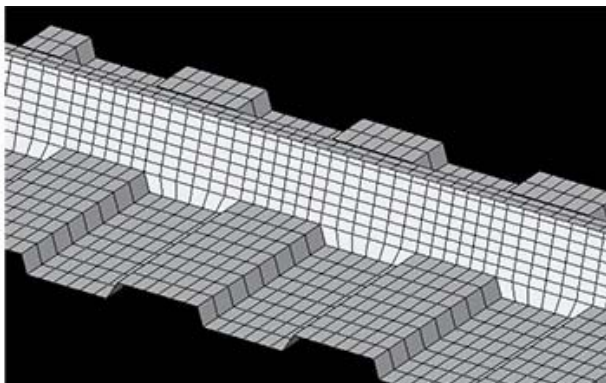


Рис.1 Вариант с «глухими» проставками

На рис.2 представлен вариант с укороченными проставками, который достаточно технологичен, однако не обеспечивает полного соединения балки с обшивкой и оставляет

*Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава,
аспирантов и студентов*

Секция I Технические и экологические аспекты эксплуатации флота, водных путей и гидросооружений

открытым вопрос о величине присоединенного пояса, поскольку в Правилах Регистра указаний на этот счет не имеется.

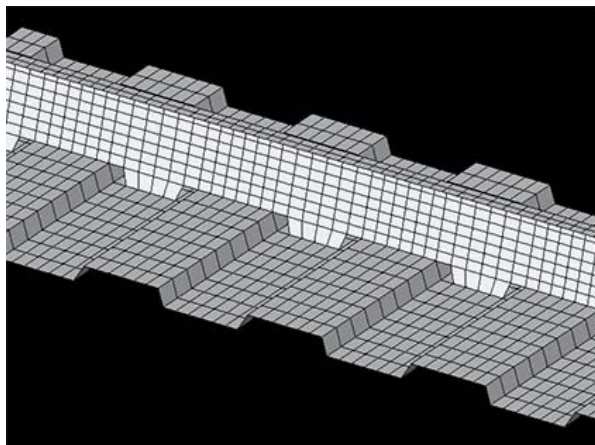


Рис.2 Вариант с «короткими» проставками

На рис.3 показана конструкция соединения балки с обшивкой, при которой приварка балки осуществляется только по верхней и нижней плоскостям гофров. Достоинством этого варианта является его технологичность, однако его, также как в первом случае, нельзя применять для танкеров. Остаются неясными вопросы о величине присоединенного пояса.

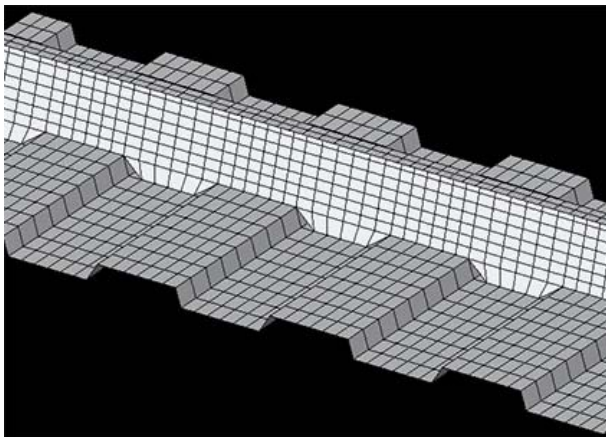


Рис.3 Вариант с «длинными» проставками

На рис.4 представлена конструкция с горизонтальными проставками, которые соединяют балку только с верхними плоскостями обшивки. Этот вариант достаточно технологичен и может применяться в конструкции танкеров.

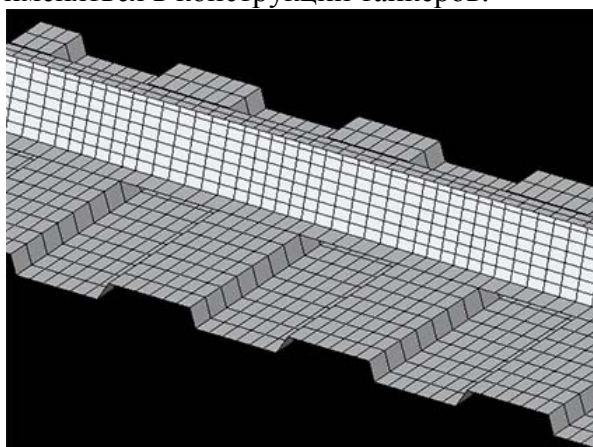


Рис.4 Вариант с горизонтальными проставками

На рис. 5 показан вариант конструкции, при которой рамная балка состоит из двух тавров, приваренных к гофрированной обшивке с двух сторон. Этот вариант очень технологичен, может применяться для танкеров, однако возникает много вопросов по оценке прочности такого варианта.

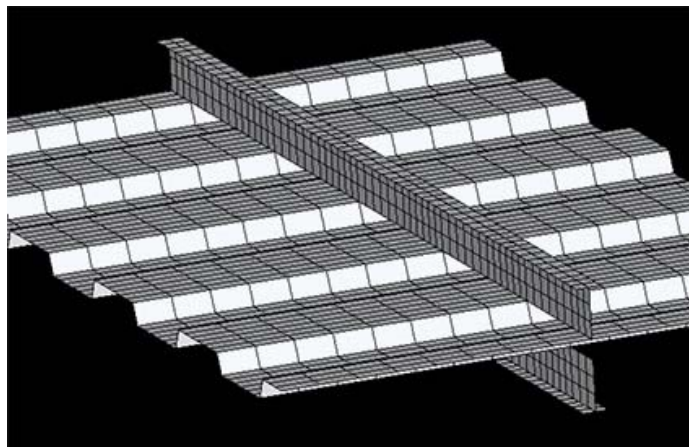


Рис.5 Вариант без проставок с зеркальным расположением балок

Напряженно-деформированное состояние представленных конструкций при действии поперечной нагрузки весьма сложно, решение такой задачи аналитическими методами практически невозможно. Наиболее приемлемым представляется применение программных комплексов, реализующих метод конечных элементов. В настоящее время имеется достаточно большое количество таких комплексов. При выборе приходится ориентироваться на доступность комплекса и на опыт работы с ним.

Отечественный программный продукт «ИСПА» имеется в открытом доступе и позволяет решать ряд задач с некоторым ограничением по числу неизвестных. Авторы имеют достаточно обширный опыт применения этого комплекса [2], [3] и др, поэтому не возникает сомнения в достоверности полученных результатов. Поскольку представленные конструкции относятся к тонкостенным, в качестве конечного элемента использованы элементы оболочки: прямоугольный элемент № 134 и треугольный элемент №124 из библиотеки конечных элементов комплекса.

Используются следующие граничные условия: правая плоскость находится в условиях жесткого защемления, остальные граничные плоскости являются плоскостями симметрии. Конструкция загружена равномерно распределенной нагрузкой, приложенной в плоскости стенки балки.

Рассмотрены следующие конструктивные варианты:

1. Конструкция, показанная на рис.1 с толщиной проставки 4 мм.
2. Конструкция, показанная на рис.1 с толщиной проставки 6 мм.
3. Конструкция, показанная на рис.1 с толщиной проставки 8 мм.
4. Конструкция, показанная на рис.2 с толщиной проставки 6 мм.
5. Конструкция, показанная на рис.3 с толщиной проставки 6 мм.
6. Конструкция, показанная на рис.3 с толщиной проставки 8 мм.
7. Конструкция, показанная на рис.4 с толщиной проставки 6 мм.
8. Конструкция, показанная на рис.5.

Во всех вариантах толщина гофрированной обшивки и стенки балки равна 6 мм. Остальные размеры поперечного сечения балки подбирались таким образом, чтобы напряжения в пояске опорного сечения балки были примерно равны допусжаемому напряжению для стали нормальной прочности, т.е. 200 МПа.

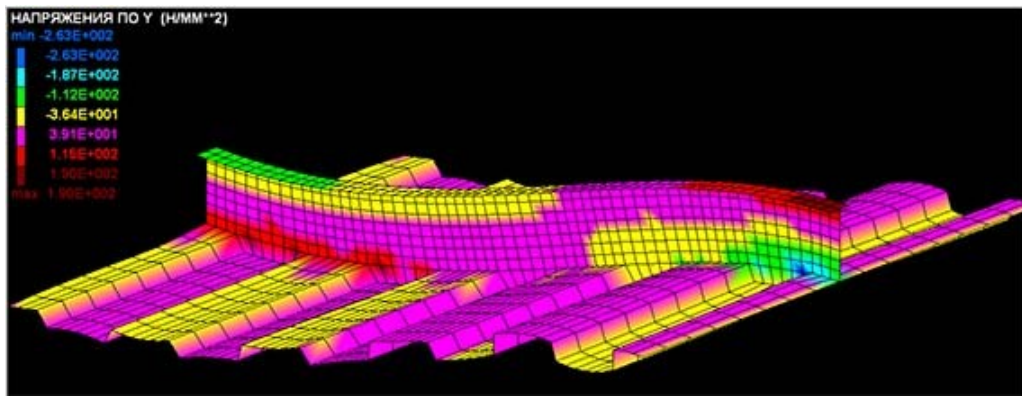


Рис.6 Поля нормальных напряжений варианта 1

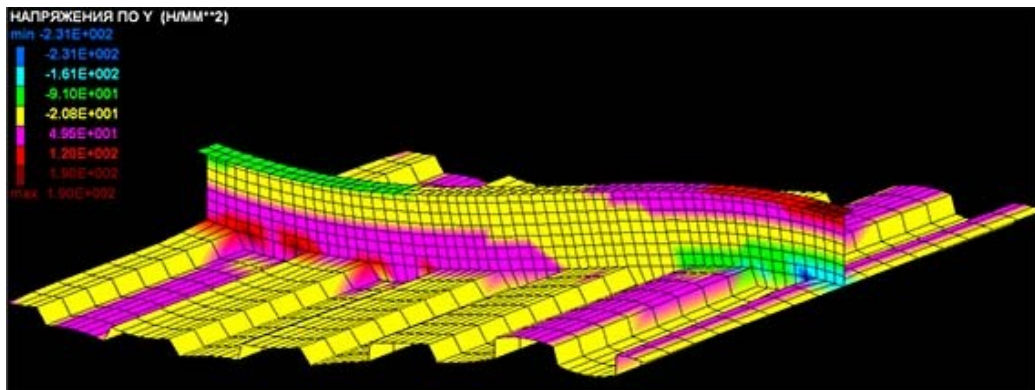


Рис.7 Поля нормальных напряжений варианта 2

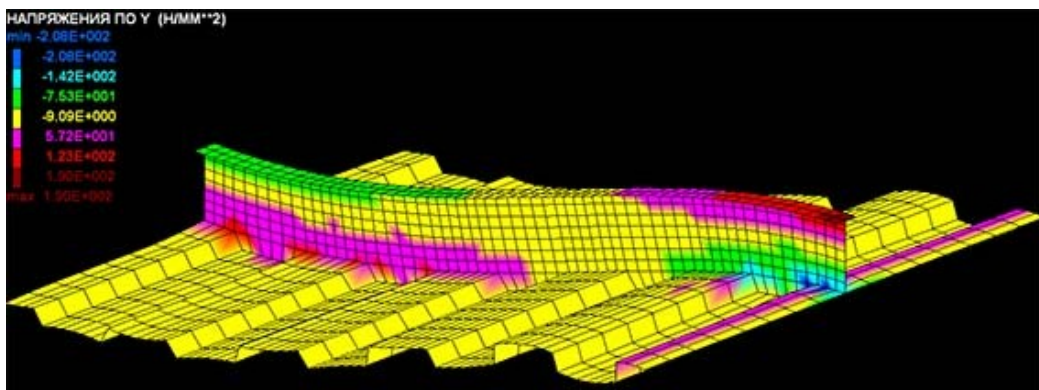


Рис.8 Поля нормальных напряжений варианта 3

На рис.6 – 8 показаны поля нормальных напряжений (вдоль балки) указанных выше 1 – 3 вариантов конструкции. Как видно, в первом и втором вариантах напряжения несколько превышают допусковые. Таким образом, для выполнения требований Правил [1] необходимо несколько увеличить толщину проставки по сравнению с толщиной стенки балки.

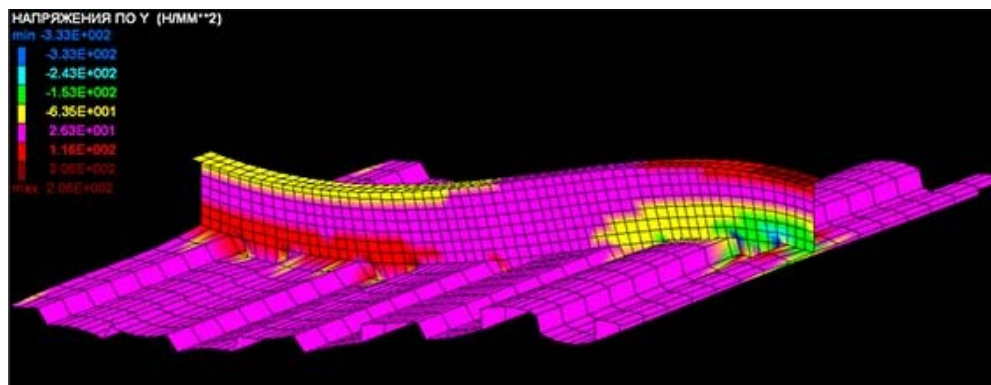


Рис.9 Поля нормальных напряжений варианта 4

На рис.9, где показаны поля напряжений варианта 4, видно, что при укороченной проставке возникают весьма значительные зоны, в которых напряжения существенно превышают допускаемые. При таких напряжениях весьма вероятно появление трещин малоциклового усталости, поэтому этот вариант не может быть рекомендован для практического использования.

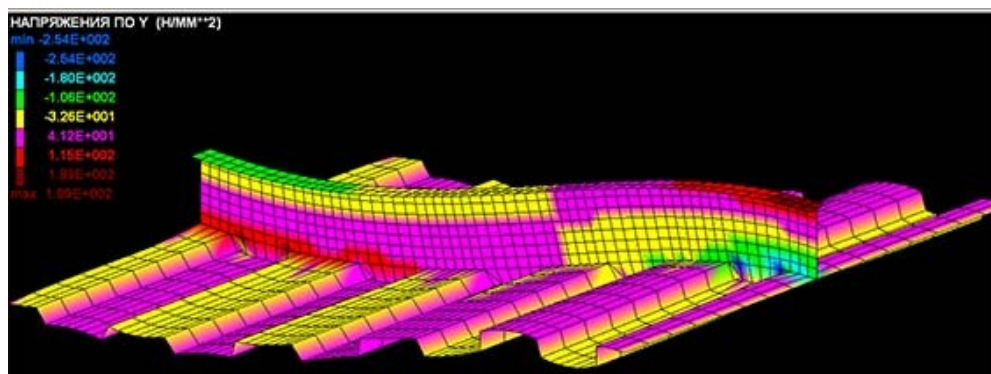


Рис.10 Поля нормальных напряжений варианта 5

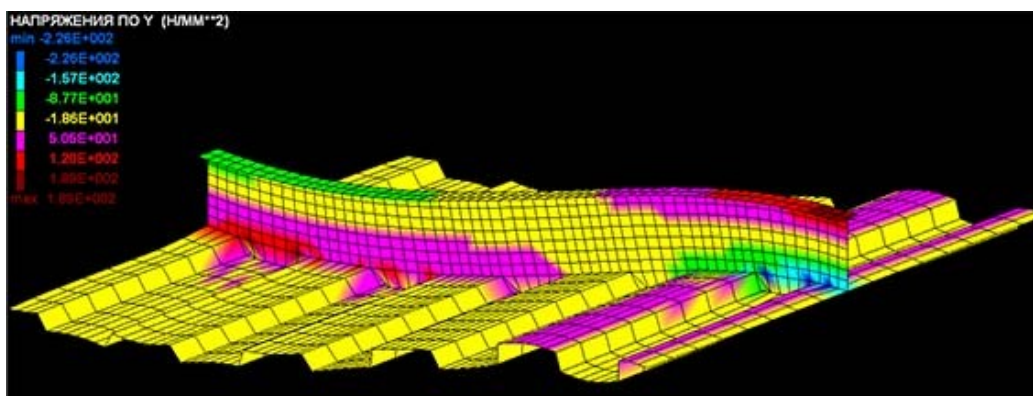


Рис.11 Поля нормальных напряжений варианта 6

На рис.10 - 11 показаны поля напряжений вариантов 5 и 6, т.е. для удлиненных проставок, которые не приварены к наклонным плоскостям гофров. Сопоставление с рис.10 и 11 показывает, что напряженные состояния достаточно близки. Концентрация напряжений носит локальный характер, поэтому такой вариант допустим для практического использования.

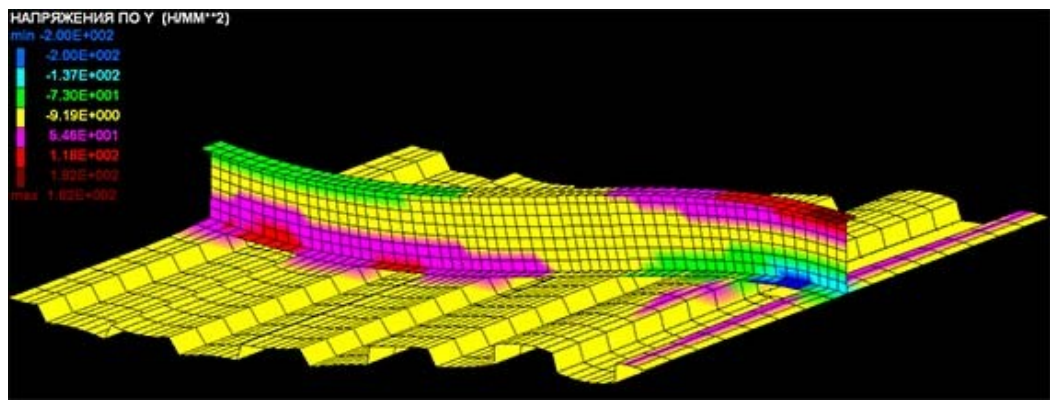


Рис.12 Поля нормальных напряжений варианта 7

На рис.12 представлены поля напряжений в 7 варианте конструкции, т.е. конструкции с горизонтальными проставками. Видно, что в конструкции отсутствуют зоны концентрации, а распределение напряжений по высоте балки близко к обычной двутавровой балке.

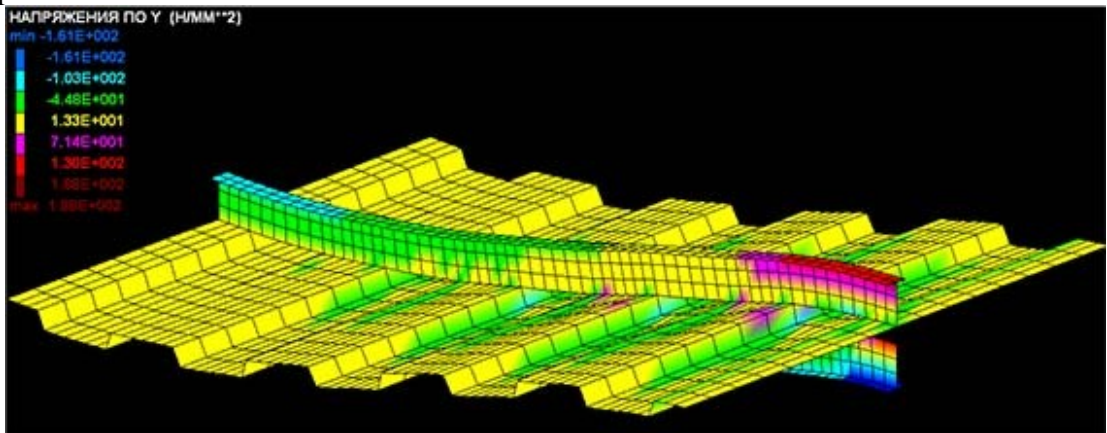


Рис.13 Поля нормальных напряжений варианта 8

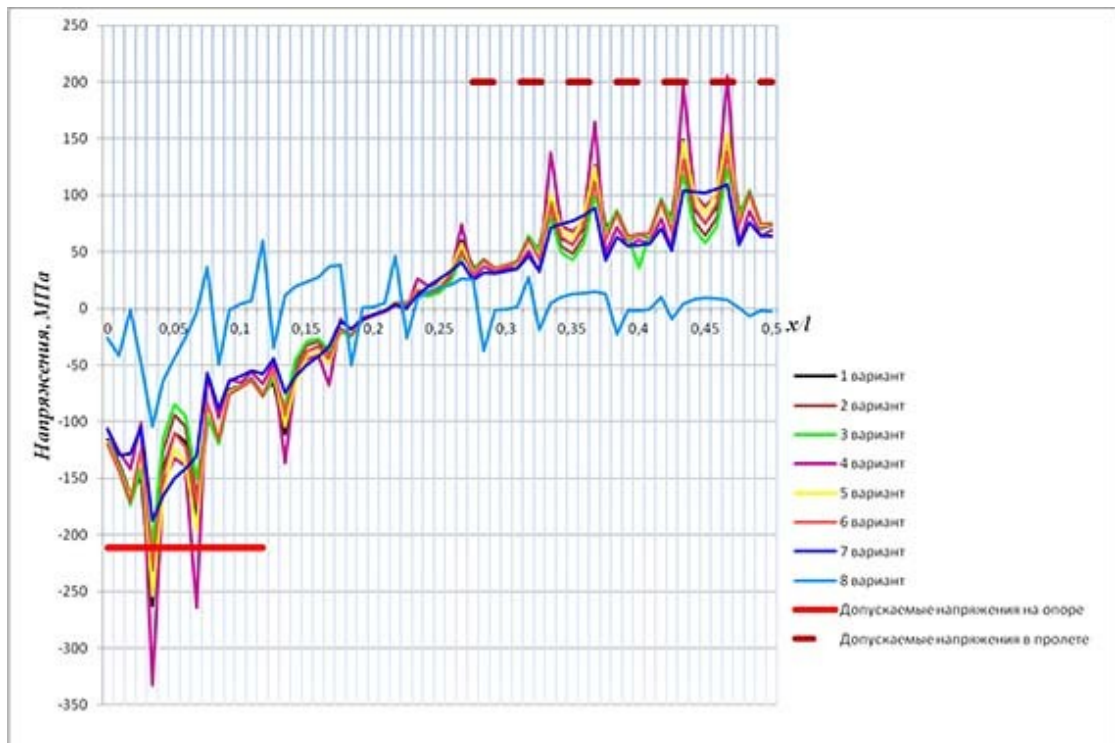


Рис.14 Графики изменения напряжений по линии соединения балки с верхней поверхностью гофрированной обшивки

На рис.13 изображены поля напряжений в конструкции 8 варианта. В данном случае также практически отсутствуют зоны повышенных напряжений. На рис.14 показаны графики нормальных напряжений, возникающих по линии присоединения стенки балки к гофрированной обшивке и проставкам. Видно, что в случаях использования вертикальных проставок имеет место резкое возрастание напряжений по концам проставок.

Из рассмотренных вариантов третий, шестой, седьмой и восьмой удовлетворяют требованиям Правил Речного Регистра с точки зрения прочности, поэтому выбор того или иного варианта для практического применения зависит от соотношения масс и трудоемкости изготовления. Под массой будем понимать массу металла, идущего на изготовление балки и ее крепления к обшивке. Под трудоемкостью изготовления будем понимать протяженность сварных швов. Очевидно, что принятое понятие трудоемкости несколько условное, поскольку не учитывает затраты на разметку и резку металла, однако для сравнения трудоемкостей изготовления разных вариантов конструкции выбор протяженности сварных швов представляется достаточно корректным.

В табл.1 представлены указанные выше значения масс и протяженности сварных швов для рассмотренных вариантов конструкции.

Вариант 9, представленный в табл.1, имеет конструкцию соединения балки с обшивкой по всей длине, показанную на рис.1. При этом сечение балки подобрано в соответствии с требованиями Правил Речного Регистра, т.е. присоединенный поясик принят равным 12 толщин обшивки.

Таблица 1 - Масса и протяженность сварных швов вариантов конструкции

Номер варианта конструкции	Масса балки и проставок, кг	Протяженность сварных швов, м	
		Автомат. сварка	Полуавт. сварка
3	147,7	6,4	10,74
6	145,7	6,4	8,33
7	146,2	6,4	7,80
8	160,8	12,8	5,80
9	156,5	6,4	10,74

Как было отмечено выше, рекомендуемые Правилами Регистра вариант 3, а также вариант 9 обладают повышенной трудоемкостью изготовления. Варианты 6 и 7 имеют практически одинаковую массу, однако, вариант 7 более технологичен и может быть рекомендован для практического применения.

Из табл.1 следует также, что рекомендуемая Правилами величина присоединенного поясика гофрированной обшивки несколько занижена.

Список литературы:

- [1] Российский Речной Регистр. Правила (в 5 – и томах). Т.2.- М.:типография «Наука», 2015. – 437 с.
- [2] Гирин, С.Н. Проблемы снижения концентрации напряжений при установке второго дна на т/х типа «Ленанефть»/ С.Н. Гирин // Труды 15 международного научно-промышленного форума «Великие реки» Материалы науч. метод. конференции «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. Том 1.- Н.Новгород: изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013.- с.317-321.

[3] Гирин, С.Н. Анализ напряженного состояния автомобильной цистерны для перевозки жидких грузов при квазистатических нагружениях/ С.Н. Гирин, С.Д. Гордлеев// Вестник Волжской государственной академии водного транспорта.- Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012.- Вып31.- с.131-135.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE STRENGTH OF VARIOUS SHELF CONSTRUCTION VARIANTS BULKED BULKHEAD

S.N. Girin, I.Yu. Shirokov

Key words: corrugated bulkhead, frame beam, spacer, stress state, mass, length of welded seams.

Various options are considered for welding a frame beam located across the trapezoidal corrugations to a corrugated bulkhead. The fields of normal stresses of the considered variants are given. A recommendation is given on the choice of the option based on the comparison of masses and the length of welded joints.