

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХПАЛУБНОГО НАКАТНОГО СУДНА БЕЗ ПИЛЛЕРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ

Г. В. Шарун, доцент;
Е. О. Мишуровская, магистр

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Исследованы особенности напряженно-деформированного состояния корпуса двухпалубного накатного судна без пиллерсов с использованием метода конечных элементов и расчетных схем поперечных шпангоутных рам в стержневой, пластинчато-стержневой и пластинчатой идеализации. Приведены рекомендации по проектированию рамных связей верхнего твиндека двухпалубного накатного судна без пиллерсов.

Ключевые слова: накатное судно, шпангоутная рама, расчетная схема, рамная связь, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.

Анотація. Досліджені особливості напружено-деформованого стану корпусу двопалубного накатного судна без пілерсів з використанням методу скінченних елементів і розрахункових схем поперечних шпангоутних рам у стрижневій, пластинчасто-стрижневій і пластинчастій ідеалізації. Наведені рекомендації з проектування рамних в'язей верхнього твіндека двопалубного накатного судна без пілерсів.

Ключові слова: накатне судно, шпангоутна рама, розрахункова схема, рамна в'язь, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан.

Abstract. The research of special features of the stress-deformed condition of double-deck ro-ro ship without pillars is carried out. For the research the calculation models of transverse frame ring in bar, lamellar-bar and lamellar idealizations are used by means of the finite-element method. The recommendations on the frame bracing design of upper tweendeck of the double-deck ro-ro ship without pillars are given.

Keywords: ro-ro ship, frame ring, calculation model, frame bracing, finite-element method, stress-deformed condition.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современные Правила классификационных обществ для накатных судов регламентируют только толщины и размеры продольных балок основного набора палуб. Для рамных связей рекомендуется использовать прямые расчеты прочности с использованием метода конечных элементов. В качестве расчетных схем принимаются поперечные

шпангоутные рамы, отсеки и пространственные модели корпуса судна. Необходимость прямых расчетов объясняется сложным пространственным напряженно-деформированным состоянием корпуса вследствие отсутствия поперечных переборок в средней части судна. Для накатных судов при бортовой качке существенны деформации перекоса поперечных сечений, как и изгиб

палуб и днища в вертикальном направлении поперечной нагрузкой от груза и воды.

В статье обосновывается возможность применения достаточно простых расчетных схем в виде поперечных шпангоутных рам для проектирования рамных связей двухпалубных накатных судов без пиллерсов с регулярным расположением рамного набора.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Правилах классификационных обществ приводятся общие рекомендации по расчетным схемам, нагрузкам и допускаемым напряжениям [3]. При этом используется стержневая, пластинчатая или пластинчато-стержневая идеализация конструкций. Возможности современных персональных компьютеров позволяют использовать достаточно детальные расчетные схемы, однако подготовка исходных данных для таких схем трудоемкая. Подробные пространственные модели корпуса судна используются для судов сложных конструктивных типов, таких, как супер-контейнеровозы и супертанкеры, большие навалочные и нефтенавалочные суда, в том числе и накатные [4]. Если упрощение расчетной схемы не приводит к потере важных составляющих напряженно-деформированного состояния корпуса, то такие схемы можно применять при проектировании корпусов накатных судов.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является исследование особенностей напряженно-деформированного состояния корпуса двухпалубного накатного судна без пиллерсов с использованием расчетных схем поперечных шпангоутных рам в стержневой, пластинчатой и пластинчато-стержневой идеализации.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для двухпалубных накатных судов без пиллерсов с регулярно установленными шпангоутными рамами одинаковой жесткости возможно применение расчетных схем в виде изолированной шпангоутной рамы. Для доказательства этого предположения были выполнены расчеты такой рамы и сравнены с результатами расчетов пространственного

отсека. Полученные данные оказались достаточно близкими, что позволило сделать вывод о применимости схемы изолированной шпангоутной рамы для расчетов прочности корпусных конструкций двухпалубных накатных судов без пиллерсов.

Дополнительно было оценено поддерживающее влияние палуб в поперечном направлении на изменение напряженно-деформированного состояния изолированной шпангоутной рамы. Был выполнен расчет изолированной шпангоутной рамы с упругими опорами, моделирующими палубы, и без них. Сравнение результатов показало, что поддерживающее влияние палуб для шпангоутных рам данного судна несущественно. Это объясняется достаточно большой длиной палуб, имеющих опоры только в оконечностях судна на транцевой переборке и переборке форпика.

Различные расчетные схемы поперечных шпангоутных рам приведены на рис. 1. Была выполнена оценка возможности использования для определения размеров рамных связей верхнего твиндека П-образной стержневой шпангоутной рамы, жестко заземленной на уровне главной палубы. Расчеты показали, что напряжения в узле рамный бимс — рамный шпангоут у верхней палубы близки к расчету по полной схеме, а в рамном шпангоуте у главной палубы при расчете П-образной шпангоутной рамы завышаются по сравнению с расчетом полной рамы примерно на 10 %.

Для исследования концентраторов напряжений был выполнен расчет П-образной шпангоутной рамы в пластинчатой идеализации с учетом переменности сечений поясков и стенок рамных балок (рис. 1, в), выявивший районы концентрации напряжений на пересечении свободного пояска рамного бимса и двойного борта в плоскости стенок рамных бимса и шпангоута (рис. 2). Также был выявлен район существенного увеличения напряжений в месте соединения общих частей стенок рамного бимса и рамного шпангоута у верхней палубы (см. рис. 2), что было невозможно при стержневой идеализации рамы. Распределение приведенных напряжений по ширине присоединенного пояска внутренне-

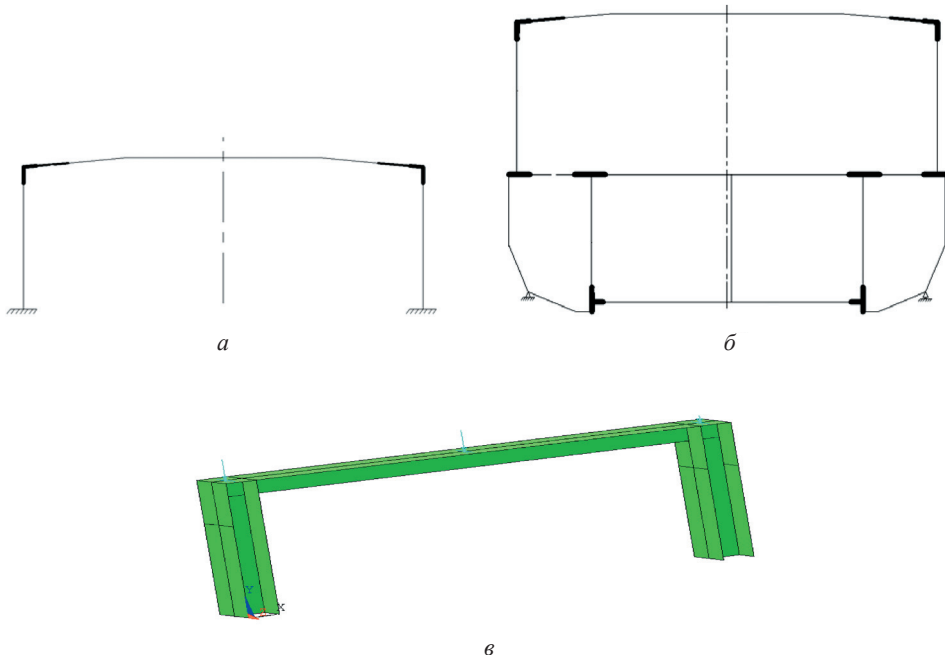


Рис. 1. Расчетные схемы, применяемые при проектировании рамных связей: *a* — П-образная стержневая шпангоутная рама твиндека; *б* — полная стержневая шпангоутная рама; *в* — П-образная шпангоутная рама твиндека при пластинчатой (пластинчато-стержневой) идеализации

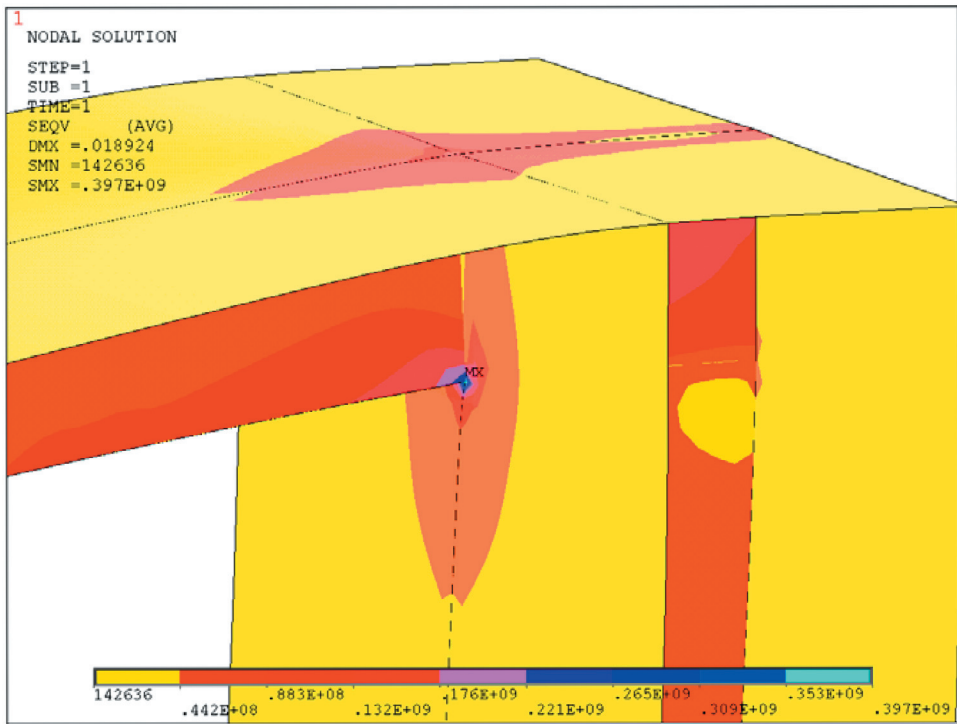


Рис. 2. Приведенные напряжения по Мизесу на пересечении рамных бимса и шпангоута у верхней палубы

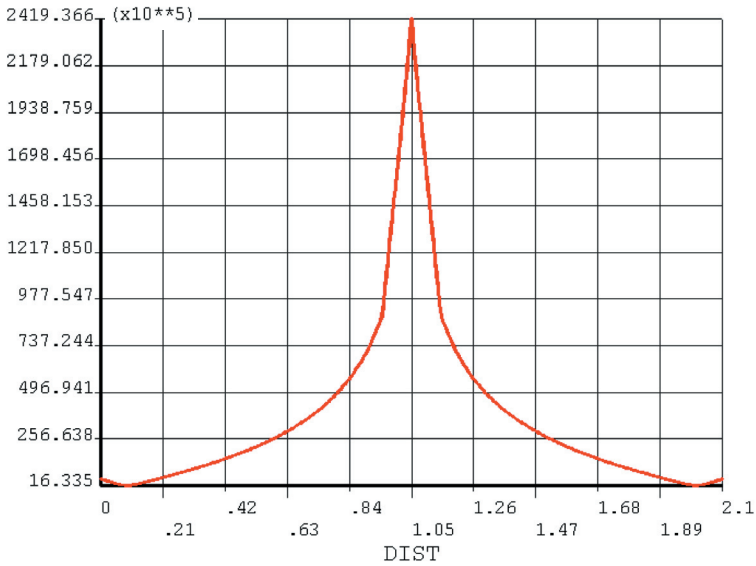


Рис. 3. Распределение приведенных напряжений по ширине присоединенного пояска внутреннего борта

го борта у свободного пояска рамного бимса верхней палубы показано на рис. 3.

В Правилах и Нормах прочности рекомендуется применять комбинированную идеализацию расчетной схемы, когда присоединенные пояски и стенки рамных балок моделируются пластинами, а свободные пояски — стержневыми элементами. Это приводит к существенному снижению времени на подготовку исходных данных для расчета и уменьшению числа неизвестных перемещений расчетной схемы при использовании метода конечных элементов. Поэтому был выполнен такой расчет, когда свободный поясок рамного бимса моделируется стержневым конечным элементом фермы, учитывающим только деформации растяжения–сжатия. Сравнение результатов расчета при пластинчатой и пластинчато-стержневой идеализации показало полное их совпадение, что свидетельствует о приемлемости рекомендаций Правил [3].

На основе аналитического расчета П-образных шпангоутных рам были разработаны требования к размерам рамных связей верхнего твиндека двухпалубного накатного судна без пиллерсов.

На основании полученных в [1] выражений для рамных связей твиндека двухпалубного накатного судна для Правил Морского Регистра судоходства Украины [2] были

предложены формулы для предварительного назначения размеров рамных связей верхнего твиндека.

Расчетная вертикальная нагрузка на верхнюю палубу с учетом веса палубы и сил инерции в вертикальном направлении при качке судна на волнении, кН/м²,

$$p_b = 0,9 k_d q_b,$$

где q_b — допустимая спецификационная нагрузка на верхнюю палубу; $k_d = 1 + a_z/g$ — коэффициент динамичности.

Расчетная горизонтальная нагрузка на верхнюю палубу с учетом веса палубы и сил инерции в горизонтальном направлении при качке судна на волнении, кН,

$$F = 0,7 q_b \frac{a_y^{БП}}{g} a_2 B,$$

где a_2 — рамная шпация; B — ширина судна; $a_y^{БП}$ — ускорение в поперечном направлении от качки на уровне верхней палубы.

Расчетный изгибающий момент, кН·м: действующий на пересечении рамных бимсов и шпангоутов у верхней палубы,

$$M_i = \frac{p_b a_2^2 l_6^2}{6(2 + S/6)} + \frac{1,2 Fl_{мин}}{6 + 6 S_4}.$$

действующий посередине пролета рамного бимса верхней палубы,

$$M_i = \frac{p_v a_2 l_6^2}{8} \left(1 - \frac{1,33}{2 + S/\delta} \right).$$

действующий на рамный шпангоут у главной палубы,

$$M_i = \frac{p_v a_2 l_6^2}{12(2 + S/a)} + \frac{1,2Fl_{шп}(1 + 0,33\delta S_4)}{6 + \delta S_4},$$

где l_6 — пролет рамного бимса, м; $l_{шп}$ — пролет рамного шпангоута, м; $\delta = \frac{l_6 I_{шп}}{I_{шп} I_6}$ — параметр; $S = 1,3$; $S_4 = 1$ — добавки на сдвиг; $I_6 = I_{шп}$ — моменты инерции рамных бимса и шпангоута (в первом приближении принимаются равными друг другу).

Выполненные расчеты отсеков и шпангоутных рам показали, что формулы являются достаточно точными и даже не требуется корректировка размеров связей, назначенных по формулам, на основании расчетов по методу конечных элементов.

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования пространственного деформирования корпуса накатного судна — деформаций перекоса и вертикальных перемещений перекрытий палуб при действии внешних нагрузок. Выполнен анализ использования различных конструктивных схем при проектировании рамных связей накатных судов.

2. Показана возможность использования расчетных схем в виде изолированных шпангоутных рам для двухпалубного накатного судна. Для проектирования рамных связей верхнего твиндека возможно использование П-образных шпангоутных рам, жестко заземленных на уровне главной палубы.

3. На основе полученных аналитических формул разработаны рекомендации по проектированию рамных связей верхнего твиндека двухпалубного накатного судна без пиллерсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Козляков, В. В. О проектировании корпусов накатных судов [Текст] / В. В. Козляков, Г. В. Шарун // Проектирование и конструкции судов : сб. науч. трудов. — Николаев : НКИ, 1985. — С. 79–94.
- [2] Правила класифікації та побудови морських суден. Т. 2 : Корпус. Регістр судноплавства України [Текст]. — К. : РУ, 2002. — 360 с.
- [3] Rules for the Classification of Steel Ships. Bureau Veritas [Text]. — Paris : BV, 2004. — 540 с.
- [4] Ultra large and under stress [Text] / [M. Toyoda, T. Okada, T. Maeda, T. Matsumoto] // The Naval Architect. — September, 2008. — P. 213–219.