

**КОНСТРУИРОВАНИЕ ОПОР ПОД КОНТЕЙНЕРНЫЕ ФИТИНГИ  
С УЧЕТОМ ПРОЧНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ**

Ю. Н. Коробанов, д-р техн. наук;

**О. М. Лищук**, канд. техн. наук;

А. А. Коробанова, студ.

*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

**Аннотация.** На примере днищевых несущих связей судов, приспособленных для транспортировки контейнеров, рассмотрены области взаимодействия сосредоточенных нагрузок от действия фитингов сложенных в штабель контейнеров. В основу проведенного анализа положен метод граничных элементов, который сопоставляется с методом конечных элементов. Изложенный анализ может быть распространен на другие судовые конструкции, имеющие сосредоточенные нагрузки.

**Ключевые слова:** методы граничных и конечных элементов, штабель контейнеров, сосредоточенные нагрузки.

**Анотація.** На прикладі днищевих несучих в'язей суден, які пристосовані для транспортування контейнерів, розглянуті області взаємодії зосереджених навантажень від дії фітінгів контейнерів, укладених у кілька ярусів. В основу проведеного аналізу покладено метод граничних елементів, який порівнюється з методом скінченних елементів. Наведений аналіз може бути розповсюджений на інші судові конструкції, які мають зосереджені навантаження.

**Ключові слова:** методи граничних і кінцевих елементів, контейнери, укладені в кілька ярусів, зосереджені навантаження.

**Abstract.** Via the example of bottom girders of the ships adapted to transportation of containers, areas of interaction of the concentrated loads from the fitting action combined in a container stack have been considered. The method of boundary elements was put to the basis of the analysis which is compared to the method of finite elements. The stated analysis can be used for other ship structures which have concentrated loads.

**Keywords:** methods of boundary and finite elements, containers stack, concentrated loads.

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Судовые конструкции часто подвергаются воздействию значительных сосредоточенных нагрузок. Например, на судах типа Ro-Ro – это нагрузка от перевозимой тяжелой колесной техники, на сухогрузных судах и контейнеровозах – нагрузка от штабеля контейнеров. Суда, приспособленные для перевозки контейнеров, составляют более 30 % мирового флота. Контейнер на судне может быть размещен в трюме, на палубе, на люковых закрытиях, однако наиболее тяжелые контейнеры укладываются в трюме. В связи с этим в данном исследовании рассматриваются днищевые корпусные конструкции, воспринимающие давление штабеля контейнеров, расположенного в трюме судна.

При перевозке контейнеров на специализированных судах для их крепления применяются стандартные средства многоразового использования. В настоящее время разработано большое количество различных средств крепления. Все многообразие их можно разделить на группы: найтовные (оттяжки), закладные (фитинговые) и клеточные (ячеистые). Каждая из этих групп имеет свою сферу применения и целый ряд различных особенностей.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

На контейнеровозах под вертикальными направляющими стойками или угловыми фитингами контейнеров в двойном дне должны быть предусмотрены жесткие связи или установлены подкрепления: балки, кницы или бракеты [2, 6]. Расчетные нагрузки, воздействующие на крепления контейнеров, определяются с учетом сил инерции за счет ускорений, возникающих при качке судна. Российский Морской Регистр судоходства [6] дает расчетное значение массы контейнеров международного класса серии «1С ISO» без учета сил инерции за счет ускорений, возникающих при качке,  $m_{\text{расч}} = 24,0$  т для двадцатифутовых контейнеров, 30,5 т для сорокафутовых.

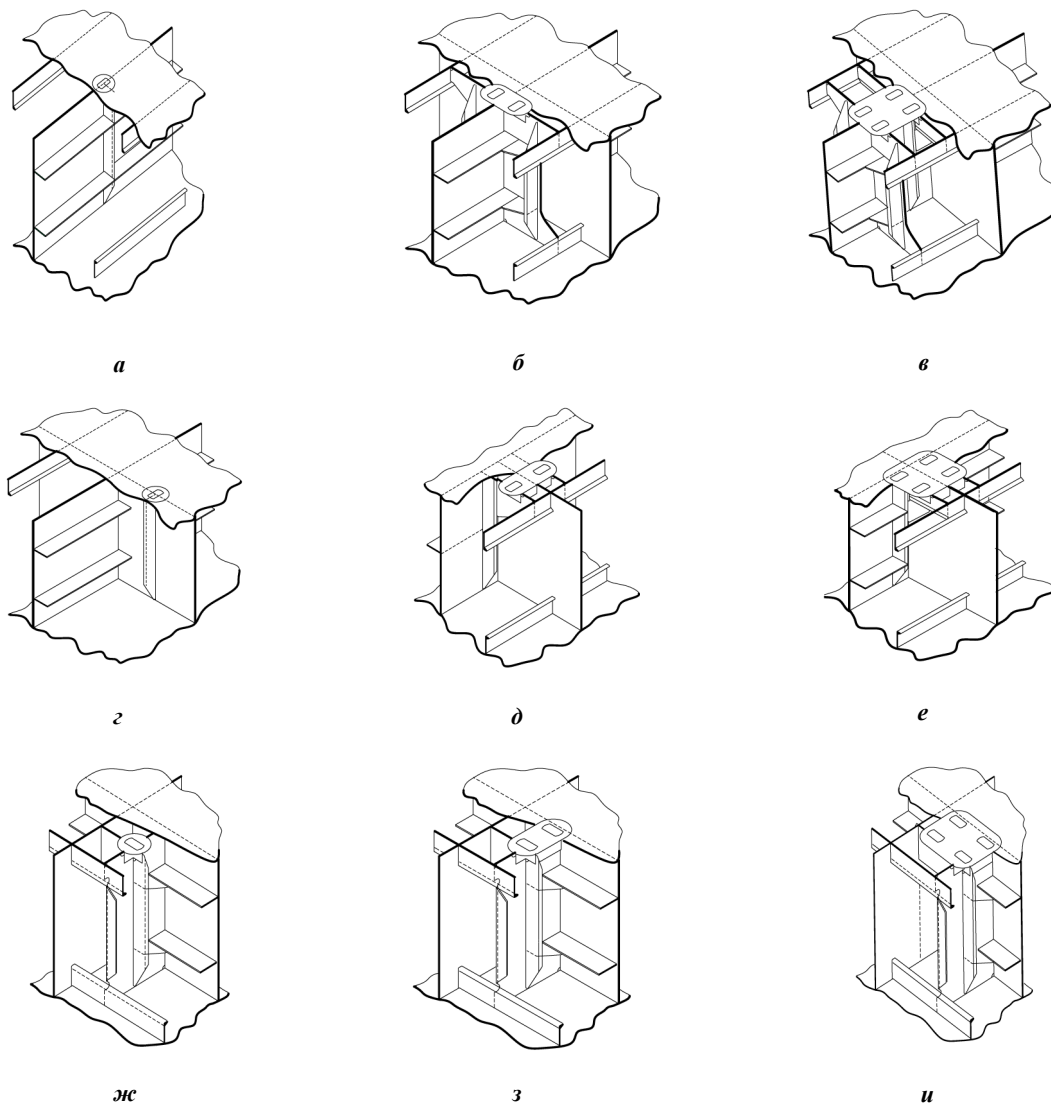
**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** – конструктивный анализ подкреплений под контейнерные фитинги в составе днищевых конструкций и их расчет по источникам [1, 3].

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Контактное взаимодействие одного контейнерного фитинга с днищевыми конструкциями чаще всего встречается на универсальных сухогрузных судах, перевозящих контейнеры как обычный генеральный груз. Поскольку контейнеры в трюме специализированных судов размещаются в несколько рядов, то

достаточно часто на один узел днищевой конструкции приходится спаренный или счетверенный фитинг. На рис. 1 отображены типовые варианты подкреплений днищевых конструкций судна при расположении контейнерных фитингов на продольной рамной свя-

зи. Как видно, конструкции подкреплений фитингов подразделяются не только исходя из их расположения относительно рамных связей корпуса, а также в зависимости от количества фитингов, приходящихся на один узел подкрепления.



**Рис. 1.** Конструкции узлов подкреплений контейнерных фитингов при расположении на днищевом стрингере, на сплошном флоре, а также в промежутке между рамными связями днища: *а, г, ж* – под одиночный; *б, д, з* – под спаренный; *в, е, и* – под счетверенный фитинги

На рис. 1, *а* показан самый простой случай подкреплений одиночного фитинга, располагаемого на днищевом стрингере. Контейнерный фитинг подкрепляется вертикальным ребром жесткости, которое обычно изготавливают из несимметричного полосульбового профиля.

На рис. 1, *б* показана схема подкреплений под спаренный фитинг, который устанавливается на днищевом стрингере. Бракета под фитингом конструктивно опирается на ближайшие продольные ребра жесткости второго дна и днища. Ребро, располагаемое на

бракете, устанавливается не под фитингом, а на расстоянии, равном примерно 0,6 шпации продольного набора. Его нельзя устанавливать прямо под фитингом исходя из технологических соображений (затруднит выполнение сварки). Продольные ребра жесткости, проходящие по днищевому стрингеру, необходимо разрезать на brackets, так как выполнение в brackets вырезов для прохода ребер днищевых стрингеров ослабит подкрепление под фитинг.

Наиболее опасной является ситуация, когда на один узел днищевой конструкции приходится нагрузка

от соседних четырех штабелей контейнеров. Как правило, при проектировании контейнеровоза расположение рамных днищевых связей судна определяется размещением счетверенных контейнерных фитингов. Такая конструкция подкрепления под счетверенный контейнерный фитинг, установленный на днищевом стрингере судна, показана на рис. 1,в.

Как видно из сравнения рис. 1,б и 1,в, подкрепления под счетверенный и спаренный контейнерные фитинги подобны. На рис. 1,в, в отличие от рис. 1,б, в схему добавлены дополнительно вертикальные стойки с опиранием на соседние продольные балки второго дна. Они устанавливаются в плоскости второй пары фитингов.

В соответствии с приведенной выше систематизацией конструкций подкреплений фитинг контейнера может быть установлен также на поперечной рамной связи (флоре). На рис. 1,з-е представлены типовые варианты подкреплений днищевых конструкций судна при опирании контейнерных фитингов на сплошную флор.

Как и в случае расположения фитинга на продольной связи (см. рис. 1,а), при установке одиночного контейнерного фитинга на флоре применяют вертикальное подкрепляющее ребро жесткости (см. рис. 1,з). Часто для усиления подкрепления вертикальные ребра устанавливают с обеих сторон рамной связи.

Схема подкреплений под спаренный фитинг, который опирается на сплошную флор, показана на рис. 1,д. В соответствии с практикой конструирования подкрепление фитинга выполнено исходя из условий опирания на соседнюю продольную балку второго дна. При этом она вовлекается в совместную работу конструкции. Фитинг в этом варианте опирается на кронштейн (кницу), установленный на днищевой продольной рамной связи. Кронштейны (кницы) совмещаются в одной плоскости с вертикальными стойками, располагаемыми на днищевом стрингере. На схеме подкреплений рис. 1,в выполнено упрочнение конструкции путем замены листовой brackets балкой полосообразного профиля с кницей.

Конструкции подкреплений при несовпадении мест установки контейнерных фитингов с расположением днищевых рамных связей корпуса показаны на рис. 1,ж-и. Фитинг на рис. 1,ж опирается на bracket с фланцем и ребром жесткости под фитингом в одной плоскости с вертикальным ребром жесткости brackets. Подкрепления на рис. 1,з и 1,и повторяют схему подкреплений под одиночный контейнерный фитинг.

Как результат систематизации приведенных выше подкреплений днищевых перекрытий была проведена оценка их напряженного состояния. Расчетная схема, используемая при выполнении расчетных процедур, приведена на рис. 2.

Суммарное ускорение в вертикальном направлении  $a_z$ , м/с<sup>2</sup>, от всех видов качки может определяться по формуле [6]

$$a_z = g \frac{0,9}{\sqrt[3]{L}} (1 + k_a), \quad (1)$$

где  $k_a = 1,6(1 - 2,5x_1/L) \geq 0$  в носовой части судна,  $k_a = 0,5(1 - 3,3x_1/L) \geq 0$  в кормовой части судна;  $L$  – длина судна, м;  $x_1$  – отстояние рассматриваемого поперечного сечения от ближайшего (носового или кормового) перпендикуляра, м.

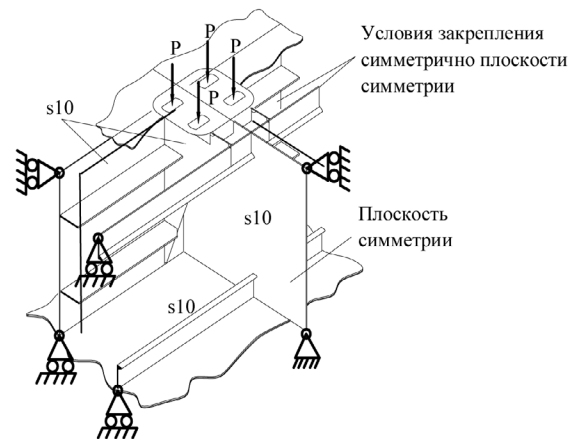


Рис. 2. Расчетная схема подкрепления контейнерного фитинга днищевых корпусных конструкций

В исследовании принята среднестатистическая длина контейнеровозов с тремя ярусами контейнеров в трюме  $L = 135,7$ . Суммарное ускорение составит  $a_z = 9,81 \frac{0,9}{\sqrt[3]{135,7}} = 1,72$  м/с<sup>2</sup>. Для последующей оценки показателей воздействия контейнерных фитингов на судовые конструкции можно принять  $a_z = 1,75$  м/с<sup>2</sup>.

Поскольку процесс проектирования судовых конструкций подкрепления мест опирания контейнерных фитингов предполагает его интеграцию в отечественную систему автоматизированного проектирования «ДЕЙМОС», целесообразно сравнить его с результатами расчетных процедур метода конечных элементов.

С целью последующего анализа узлы днищевых перекрытия приняты из числа тех, которые рассмотрены применительно к МГЭ. В качестве примера апробации предлагаемого метода были рассмотрены конструктивные схемы подкреплений, соответствующие рис. 1,а, которые предполагают опирание контейнерных фитингов на пересечении флора и днищевой стрингера.

Установку brackets с ребрами жесткости отражает рис. 1,б. Одно ребро жесткости на днищевом стрингере показано на рис. 1,в. Стойка с кницей доведена до ближайшей продольной балки. Bracket с фланцем имеет вертикальное ребро жесткости. Она примыкает к днищевому стрингеру. Bracket, фланец которой лежит в одной плоскости с продольной балкой и стойкой, располагается на поперечной рамной связи. Между собой они соединены кницей.

Расчеты показали, что взаимное влияние сосредоточенных нагрузок от соседних контейнерных фитингов

можно не учитывать (рис. 3) при выполнении подобных расчетов с помощью МГЭ-программ, так как возмущение напряженного состояния распространяется в пределах 1/2 шпации. Это позволяет выполнять при необходимости облегчающие вырезы и вырезы для прохода в сплошных флорах уже в следующей шпации продольного набора. Кроме того, расчет доказал правомерность использования «bracketных флоров», так как далеко не всегда удается размещать опоры контейнеров над сплошными флорами.

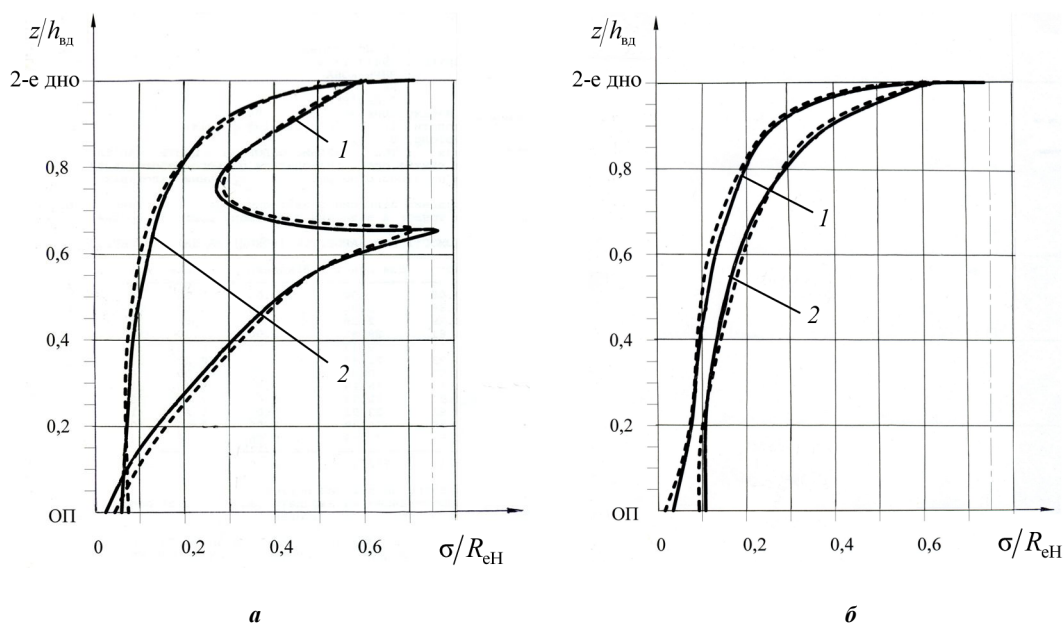


Рис. 3. Результаты расчета различных конструкций подкреплений днищевых перекрытий контейнерного судна: - - - (1) – МГЭ; — (2) – МКЭ

Результаты расчетных процедур, приведенные на рис. 3, показывают близость решений, получаемых методом граничных и методом конечных элементов. Эпюра нормальных напряжений  $\sigma/R_{сН}$  на рис. 3,а, свойственная схеме расположения контейнерных фитингов согласно рис. 1,и, приведена в зависимости от относительной высоты  $z/h_{вд}$ . Эпюра отображает напряжения во флоре, на который опирается одна из пар счетверенных фитингов (кривая 2). На рис. 3,б также приведена эпюра напряжений (кривая 2), но возникающих в brackets вдоль ее ребра жесткости (см. рис. 1,и). На рис. 3,б приведена эпюра напряжений (кривая 1), характерных для подкрепляющего ребра brackets (см. рис. 1,в).

Расчеты показали также несостоятельность подкреплений, выполняемых посредством книц. В местах, совпадающих с нижней кромкой кницы, возникает концентрированное увеличение напряжений (кривая 1 на рис. 1,е). Это обстоятельство подтверждает необходимость совершенствования кничного подкрепления, подобно тому, как это сделано в [4].

## ВЫВОДЫ

1. Приведенная систематизация конструктивных подкреплений контейнерных фитингов дает возможность рассмотреть типовые инженерные задачи с последующим построением решений к ним, основанных на численных методах.

2. Наибольшего внимания заслуживают такие варианты подкреплений: подкрепление в виде brackets с ребром жесткости (с различным его расположением); подкрепление на стрингере в виде вертикальных стоек-кронштейнов с опиранием на соседние балки второго дна. Выделенные конструктивные схемы подкреплений днища под контейнерные фитинги могут быть положены в основу типовых в отечественной АСУП.

3. Конструкция подкрепления контейнерных фитингов, как одиночных, спаренных, так и счетверенных, должна быть проанализирована на предмет наличия значительных концентраторов напряжений.

Из состава подкрепляющих конструкций следует подвергнуть совершенствованию такие, у которых будут определены зоны повышенной концентрации напряжений.

Цель данного исследования будет достигнута, если предложенная конструкция по таким составляющим, как металлоемкость, трудоемкость и прочность, превзойдет применяемую.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Бребия, К.** Применение метода граничных элементов в технике [Текст] / К. Бребия, С. Уокер. – М. : Мир, 1982. – 246 с.
- [2] **Валько, Н. Г.** Конструирование корпуса контейнеровозов [Текст] / Н. Г. Валько, В. Ф. Сирияченко, М. И. Спитковский. – М. : Рекламинформбюро ММФ, 1976. – 39 с.
- [3] **Крауч, С.** Методы граничных элементов в механике твердого тела [Текст] / С. Крауч, А. Старфилд. – М. : Мир, 1987. – 328 с.
- [4] **Пат. 37796 Україна, МПК<sup>7</sup> В63В3/00.** Підкріплення контейнерного фітинга днищевих корпусних конструкцій [Текст] / Ліщук О. М., Коробанов Ю. М. ; заявник і власник патенту Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – № u2008 08477 ; заявл. 25.06.2008 ; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23. – 4 с.
- [5] Повреждения и пути совершенствования судовых корпусных конструкций [Текст] / Н. В. Барабанов, Н. А. Иванов, В. В. Новиков, Г. П. Шемендюк. – Л. : Судостроение, 1989. – 256 с.
- [6] Российский Морской Регистр судоходства. Т1. Правила классификации и постройки морских судов [Текст]. – СПб., 2010. – 481 с.

---

© Ю. М. Коробанов, **О. М. Ліщук**, А. А. Коробанова

Надійшла до редколегії 15.01.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. Л. І. Коростильов