

УДК 629.5:004
К 68ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ ПОДКРЕПЛЕНИЙ ПОД
КОНТЕЙНЕРНЫЕ ФИТИНГИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ САПРЮ. Н. Коробанов, д-р техн. наук, проф.;
О. М. Лищук, канд. техн. наук;
А. А. Коробанова, студ.*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

Аннотация. Применительно к судам, приспособленным для транспортировки контейнеров, систематизированы типовые подкрепляющие днищевые конструкции для противодействия сосредоточенным нагрузкам от фитингов сложенных в штабель контейнеров. В основу проведенного анализа положен метод граничных элементов. Изложенный анализ может быть распространен на другие судовые конструкции, испытывающие сосредоточенные нагрузки.

Ключевые слова: метод граничных элементов, штабель контейнеров, сосредоточенные нагрузки, автоматизированная система проектирования.

Анотація. Відносно суден, пристосованих до транспортування контейнерів, систематизовано типові підкріпні днищеві конструкції для протидії зосередженим навантаженням від фітінгів контейнерів, укладених у кілька ярусів. В основу проведеного аналізу покладено метод граничних елементів. Наведений аналіз може бути розповсюджений на інші судові конструкції, які сприймають зосереджені навантаження.

Ключові слова: метод граничних елементів, контейнери, укладені в кілька ярусів, зосереджені навантаження, автоматизована система проектування.

Abstract. Relatively to the ships adjusted for containers transportation the typical strengthening bottom constructions for the counterforce of the point loads from the fittings of the piled containers have been systematized. The boundary element method is put in the basis of the lead analysis. The given analysis can be used for other ship constructions which bear the point load.

Keywords: boundary element method, piled containers, point loads, automated design system.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Суда, приспособленные для перевозки контейнеров, составляют более 30 % мирового флота. Контейнеры на судне могут быть размещены в трюме, на палубе, на люковых закрытиях, однако наиболее тяжелые укладываются в трюме. В данном исследовании рассматриваются днищевые корпусные конструкции, воспринимающие давление штабеля контейнеров, расположенного в трюме судна.

Для крепления контейнеров при перевозке на специализированных судах применяются стандартные средства многоразового использования. Все многообразие разработанных в настоящее время специализированных средств крепления груза можно разделить на группы: найтовы (оттяжки), закладные (фитинговые) и клеточные (ячеистые). Каждая из этих групп имеет свою сферу применения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время постоянно разрабатывается большое количество различных программных систем и комплексов, предназначенных для автоматизации различных аспектов проектирования сложных судовых конструкций и сооружений [1–3, 5]. Используемый в статье программный продукт учитывает особенности строения ядра отечественных судостро-

ительных САПР и предполагает непосредственную реализацию в нем.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ – анализ конструкций судовых подкреплений и оценка напряженного состояния днищевых конструкций, испытывающих сосредоточенные нагрузки от фитингов судовых контейнеров, для интеграции в отечественные САПР.

В основе исследования использован метод граничных элементов (метод фиктивных нагрузок).

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Распределение нагрузки одного штабеля контейнеров приходится на четыре опорные точки. Они же являются креплением контейнерных фитингов. Общие схемы взаимодействия фитингов с элементами днищевых конструкций, таких, как днищевой стрингер, сплошной флор, система бракет в составе конструкции, приведены на рис. 1. Расчетное значение массы двадцатифутового контейнера международного класса серии «1» с учетом сил инерции за счет ускорений, возникающих при качке [6], $m_{\text{расч}} = 24,0$ т. В расчете принимаем три яруса контейнеров в штабеле. Масса одного штабеля $m_{\text{ф}} = 24,0 \cdot 3_{\text{яруса}} = 72,2$ т.

Размеры судовых контейнеров и размещение их на судне таковы, что на один узел днищевой конструкции может приходиться один фитинг, пара или

четыре. Эта особенность требует систематизации днищевых конструкций в зависимости от количества контейнерных фитингов, приходящихся на один узел днищевой конструкции. Таким образом, последую-

щая систематизация конструкций подкрепления дна рассматривается как для одиночных, сдвоенных и счетверенных подкреплений под контейнерные фитинги.

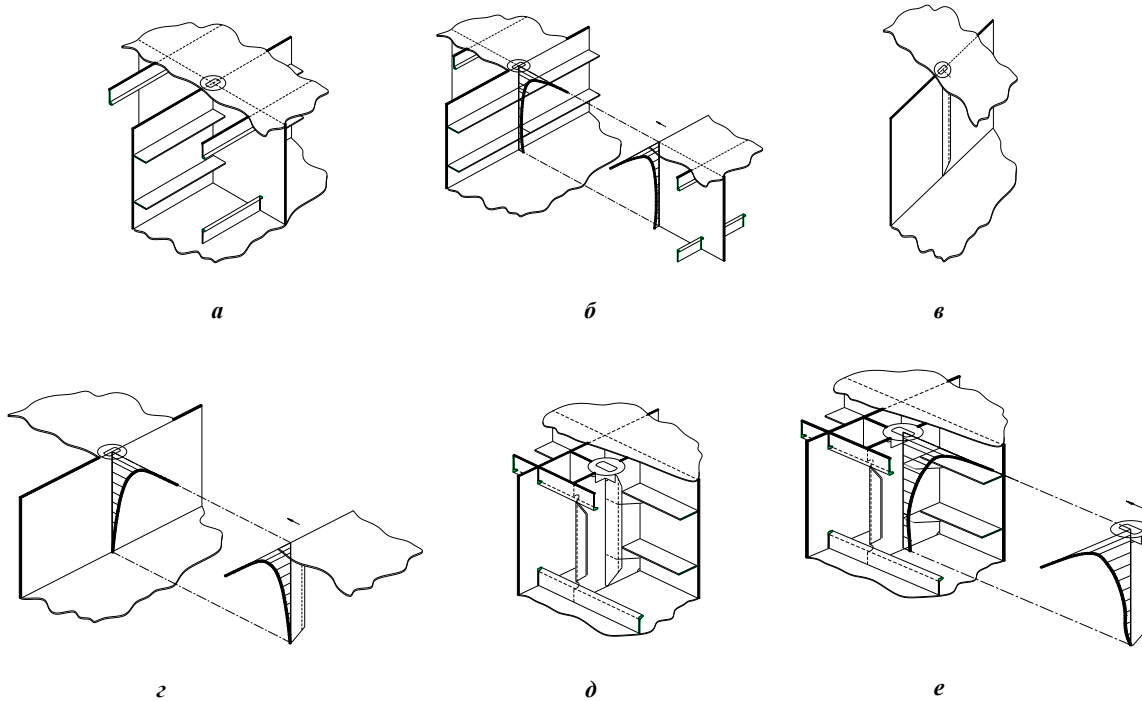


Рис. 1. Схемы подкреплений днищевых конструкций под одиночные контейнерные фитинги и основные эпюры к ним

На рис. 1,а приведен узел опирания одиночного контейнерного фитинга, устанавливаемого на пересечении рамных днищевых связей, таких, как днищевой стрингер и сплошной флор. На рис. 1,б этот узел условно раздвинут, чтобы можно было видеть эпюры действующих напряжений с учетом детализировки узла днищевой конструкции. Узел опирания одиночного контейнерного фитинга на одну рамную днищевую связь, которая подкрепляется вертикальным ребром жесткости, показан на рис. 1,в. Отчленение его от флора или днищевое стрингера также позволило поместить эпюры (рис. 1,г).

Рис. 1,д характеризует положение одиночной опоры, которая не совмещается с рамными связями дна. Для ее подкрепления используется бракета с отогнутым фланцем и вертикальным ребром жесткости. Эпюры напряжений этого узла приведены на рис. 1,е.

Придать эпюрам осязаемую структуру позволяет рис. 2, поскольку рис. 1 показывает только их ориентацию и принадлежность к той или иной конструкции дна. На рис. 1 напряжения указаны в долях от допускаемых и в функции относительной высоты междонного пространства.

Эпюры напряжений, приведенные на рис. 2, имеют следующее соответствие с конструкциями рис. 1. Кривая 1 отражает напряжения, действующие во флоре и днищевом стрингере (см. рис. 1,б), напряжения

в днищевом стрингере в районе ребра жесткости (см. рис. 1,г) отражает эпюра 2. Распределение напряжений в бракете (см. рис. 1,е) описывает кривая 3.

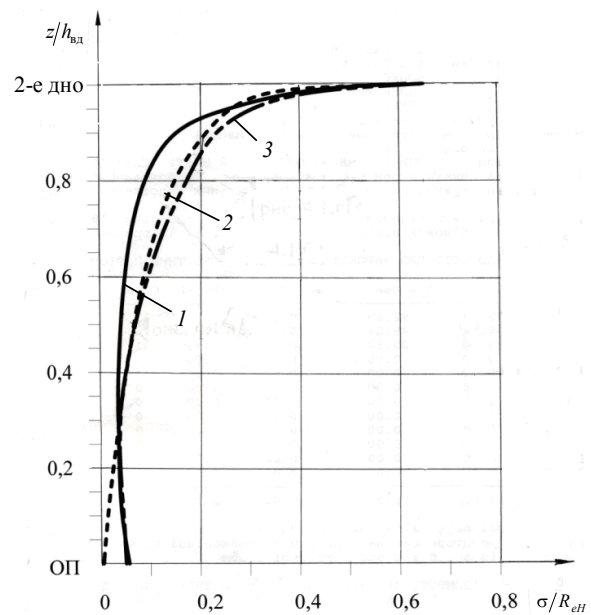


Рис. 2. Распределение напряжений в подкреплениях днищевых конструкций под одиночные контейнерные фитинги

На рис. 3,а опора под пару фитингов попадает только на днищевой стрингер, поэтому возникает необходимость в дополнительной опоре в виде brackets, подкрепленной вертикальным ребром жесткости. На рис. 3,б она условно отделена, чтобы показать действующие в ней напряжения. Рис. 3,в отражает подкрепление под пару контейнерных фитингов, совпадающее со сплошным флором

и попадающее в промежуток между днищевым стрингером и продольной балкой второго дна. В этом случае подкрепление формируется из вертикальных ребер и книц, доведенных до продольных балок. На рис. 3,г вертикальное ребро с кницей условно отделены от остальной схемы всего узла, но это позволяет продемонстрировать напряжения, действующие в ней.

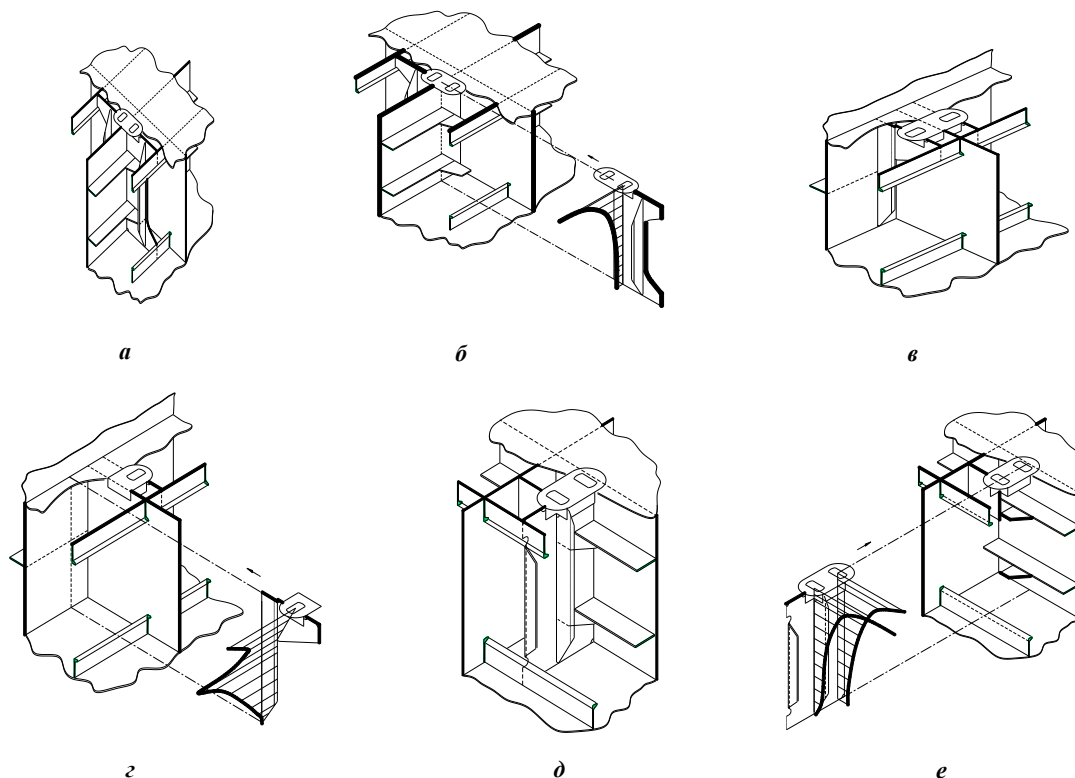


Рис. 3. Схемы подкреплений днищевых конструкций под спаренные контейнерные фитинги и основные эпюры к ним

Рис. 3,д отображает случай расположения подкрепления под парные фитинги на днищевом стрингере и на brackets с отогнутым фланцем и вертикальным ребром жесткости. На рис. 3,е эта brackets обособлена от остальной части узла подкрепления с изображением эпюр действующих напряжений.

Поскольку на эпюрах напряжений, приведенных на рис. 3, нет возможности отобразить их численные значения, а они крайне необходимы в оценке напряженного состояния того или иного узла, ниже приводится рис. 4, на котором даны наиболее характерные из них, с эпюрами в напряжениях, отнесенных к допускаемым σ/R_{eff} и в функции относительной высоты междонного пространства $z/h_{вд}$.

Эпюры напряжений, приведенные на рис. 4, отображают напряженное состояние конструкций рис. 3. Кривая 1 отражает напряжения, действующие в днищевом стрингере и в подкрепляющей его brackets (см. рис. 3,б). Напряжения в ребре жесткости днищевое стрингера и его книц (см. рис. 3,г) отражает эпюра 2. Эпюру напряжений, действующих в днищевом стрин-

гере, описывает кривая 3 рис. 3,е, распределение напряжений в brackets на рис. 3,е – кривая 3 рис. 4.

На рис. 5,а опора под четыре фитинга попадает только на днищевой стрингер, поэтому возникает необходимость в дополнительной опоре в виде brackets, подкрепленной вертикальным ребром жесткости, а также вертикальной стойкой с кницей и горизонтальным ребром между ними, которое доводится до ближайшей продольной балки второго дна. На рис. 5,б brackets и вертикальное ребро условно отделены, чтобы показать действующие в них напряжения. Рис. 5,в отражает подкрепление под четверенные стаканы под контейнерными фитингами, совпадающее со сплошным флором и днищевым стрингером. В этом случае подкрепление формируется из вертикальных ребер и книц, доведенных до продольных балок. На рис. 5,г вертикальное ребро с кницей условно отделены от остальной схемы всего узла, это позволяет продемонстрировать напряжения, действующие в двух направлениях: вдоль днищевое стрингера и вдоль сплошного флора.

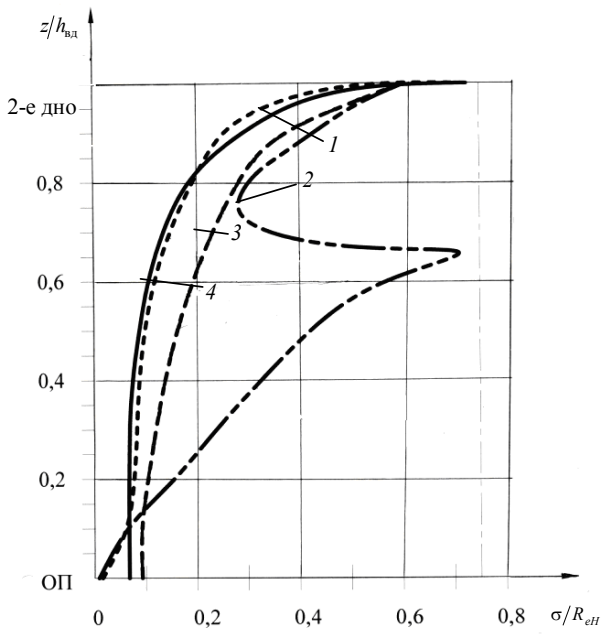


Рис. 4. Распределение напряжений в подкреплениях днищевых конструкций под спаренные контейнерные фитинги

Рис. 5,д отображает случай размещения подкрепляющих стаканов под счетверенными фитингами рядом с днищевым стрингером и со сплошным флором. Здесь основным подкрепляющим элементом являются бракета с отогнутым фланцем и вертикальным ребром жесткости, а также ребро жесткости, устанавливаемое между стаканом и сплошным флором. На рис 5,е эта бракета и ребро жесткости изображены обособленно от остальной части узла подкрепления с изображением эпюр действующих напряжений.

Как можно заметить, количество деталей, входящих в состав подкреплений стаканов под счетверенные фитинги, наибольшее, поэтому эпюры напряжений, приведенные на рис. 5, требуют отобразить их численные значения: они необходимы в оценке напряженного состояния того или иного узла. На этом основании приводится рис. 6, где отражены наиболее характерные напряженные состояния с эпюрами в напряжениях, отнесенных к допускаемым $\sigma/R_{ст}$ и в функции относительной высоты междонного пространства $z/h_{вд}$.

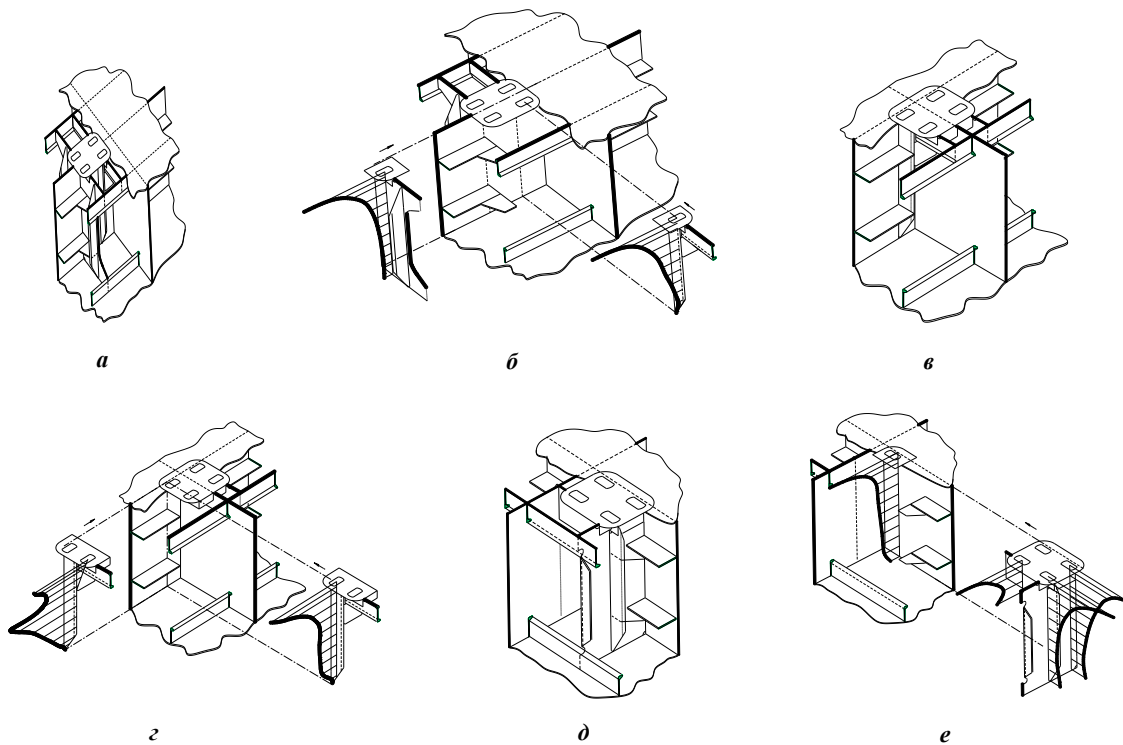


Рис. 5. Схемы подкреплений днищевых конструкций под счетверенные контейнерные фитинги и основные эпюры к ним

Для наглядности и удобства восприятия приводимых эпюр рис. 6 представлен двумя частями. На рис. 6,а изображены эпюры, описывающие напряженно-деформативное состояние конструкций, отображенных на рис. 5,а,в; на рис. 6,б даны эпюры конструкций рис. 5,в,г.

Эпюры напряжений, приведенные на рис. 6, отображают напряженное состояние конструкций рис. 5. Кривая 1 рис. 6,а отражает напряжения, действующие в днищевом стрингере и бракете, подкрепляющей его (см. рис. 5,б). Напряжения в ребре жесткости днищевого стрингера и его книц (см. рис. 5,г) отражает

эпюра 2 рис. 6,а). Кривая 3 рис. 6,а является эпюрой ребра жесткости с кницами (см. рис. 5,з). Эпюру напряжений, действующих в днищевом стрингере в районе его ребра жесткости, описывает кривая 4 рис. 5,б.

Распределение напряжений в ребре жесткости, соединяющем бракету со сплошным флором (см. рис. 5,е), описывает кривая 1 рис. 6,б. Зависимость 2 рис. 6,б отвечает напряжениям, распределенным по ребру жесткости бракету (см. рис. 5,е). Распределение напряжений в днищевом стрингере показывает кривая 3 рис. 6,б. Эта зависимость соответствует конструкции рис. 5,е. Эпюра 4 рис. 6,б отражает напря-

женное состояние днищевого стрингера в районе его ребра жесткости.

Таким образом, удалось выделить наиболее типичные конструкции днищевых подкреплений, приспособленные под различные стаканы контейнерных фитингов. Разработанные алгоритмы, основанные на методе граничных элементов (фиктивных нагрузок), позволили оценить их напряженное состояние на начальных стадиях проектирования судна. Программные продукты, отображающие напряженно-деформативное состояние рассмотренных конструкций, легко интегрируются в отечественную САПР «ДЕЙМОС».

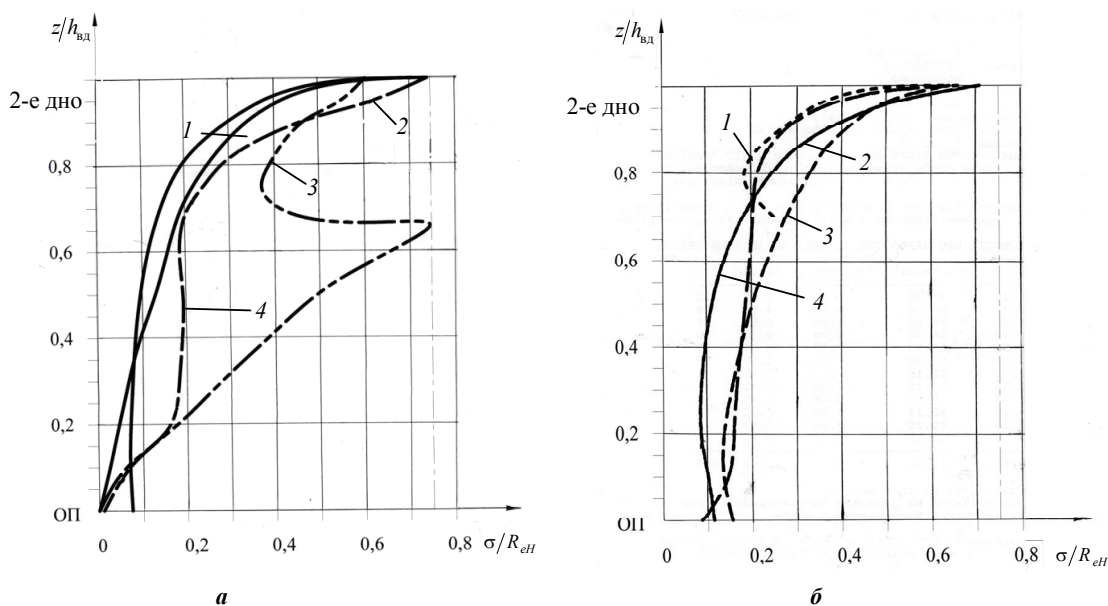


Рис. 6. Распределение напряжений в подкреплениях днищевых конструкций под счетверенные контейнерные фитинги

ВЫВОДЫ

1. Приведенная систематизация подкреплений днищевых конструкций под контейнерные фитинги дает возможность выделить типовые конструкции с последующим построением их прочностной оценки, основанной на численном методе МГЭ. Тогда возможна последующая интеграция в состав отечественной САПР «ДЕЙМОС».

2. Наибольшее внимание уделено таким вариантам подкреплений, которые уже широко распространены в практике конструирования. Используются подкрепления в виде бракет, содержащих ребра жесткости (с различным их расположением).

3. Как показал анализ конструктивных решений подкреплений на стрингере или сплошном флоре в виде вертикальных стоек-кронштейнов с опиранием на соседние продольные балки второго дна посредством книц, такие узлы испытывают значительную концентрацию напряжений. Они должны быть усовершенствованы, как это предлагается в [4].

4. Конструкции подкреплений контейнерных фитингов, как одиночных, спаренных, так и счетверенных, должны быть проанализированы на предмет наличия значительных концентраторов напряжений. Следует подвергнуть совершенствованию подкрепляющие конструкции, у которых будут определены зоны повышенной концентрации напряжений.

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] Патент 37796 Україна: МПК⁷ В63В3/00. Підкріплення контейнерного фітинга днищевих корпусних конструкцій [Текст] / О. М. Ліщук, Ю. М. Коробанов ; заявник і власник патенту Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – № у 2008 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.
- [5] 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 05.03.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК

канд. техн. наук, проф. НУК А. Ф. Галь