

Допустимая загрузка контейнеровоза

Е. А. Власенко

Национальный Университет «Одесская Морская Академия», Одесса, Украина
Corresponding author. E-mail: burmaka-mob@ukr.net

Paper received 16.12.18; Accepted for publication 20.12.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22-23>

Аннотация. Отмечены особенности расчета загрузки контейнеровоза с учетом существенных факторов. Рассмотрена ситуация размещения партии груза, предназначенной для выгрузки в последнем порту назначения. Разработаны и предложены процедуры размещения контейнеров по бейтам и ярусам грузового помещения с учетом требований по посадке, остойчивости и общей продольной прочности судна. Приведены аналитические зависимости для формирования допустимого тензора загрузки судна контейнерами. С помощью разработанной компьютерной программы приведен пример формирования допустимого тензора загрузки судна, обеспечивающего минимум приема балласта.

Ключевые слова: мореходная безопасность, загрузка контейнеровоза, формирование допустимого тензора загрузки.

Введение. При планировании загрузки контейнеровозов необходимо учитывать ротацию портов при загрузке или разгрузке в нескольких портах и силы инерции, воздействующих на груз при качке. При приеме судном груза, который будет выгружаться частями в нескольких последовательных портах, на каждом переходе между портами его мореходное состояние будет разным, поэтому во время каждого перехода параметры остойчивости, посадки и прочности судна должны находиться в допустимых пределах, а возникающие силы инерции от его качки, не должны превосходить допустимых пределов. Следовательно, при загрузке контейнеровоза с последующей разгрузкой в нескольких портах размещение груза должно производиться с учетом последовательности портов выгрузки, чтобы доступ к необходимым партиям груза был свободен, а также с учетом того, что все промежуточные состояния загрузки отвечали требованиям мореходности судна, а возникающие силы инерции не превосходили предельных значений.

Краткий обзор публикаций по теме. Ряд работ отечественных и зарубежных исследователей посвящен проблеме обеспечения надлежащего уровня мореходной безопасности судов. Основные принципы обеспечения мореходной безопасности судов рассмотрены в работе [1]. В работе [2] приводится и исследуется модель бортовой качки накатных судов с уравновешивающим расположением помещений при затоплении их части. В работе [3] исследована корреляционная зависимость между формой корпуса судна и его диаграммы статической остойчивости, также получена аппроксимированная формула расчета метацентрической высоты и проведено исследование задачи синтеза формы корпуса с заданной величиной метацентрической высоты. Способ обеспечения плавучести аварийного судна типа RO-RO и паромов, предусматривающий закрытые емкости, установленные по бортам и под палубой вдоль и поперек судна рассмотрен в патенте [4].

В работе [5] описываются метод расчета предельной прочности продольных балок корпуса судна, метод подкрепленной панели и метод расчета диаграммы нагрузок и анализа последовательного разрушения при заданных начальных деформациях и остаточных напряжениях.

Опыт применения Германским Ллойдом различных численных методов оценки прочности

и вибрации судна описывается в работе [6] и показано, что наиболее эффективным является метод конечных элементов.

Как указывается в статье [7], на базе многолетнего опыта эксплуатации судов в арктических районах собран статистический материал и разработаны методы расчетов запаса надежности судовых конструкций.

Работа [8] посвящена учету особенностей загрузки генеральных грузов и выбору ее оптимального варианта, а общие принципы оптимизации грузовых операций навалочных судов рассмотрены в работе [9].

Цель. Цель статьи - разработка способа загрузки контейнеровоза, удовлетворяющей требованиям посадки, остойчивости и продольной прочности судна.

Материалы и методы. Рассмотрим вопрос загрузки контейнеровоза подробнее, предлагая следующую формализацию указанной задачи [10]. Под загрузкой судна G будем понимать множество партий груза P_i , находящихся на судне, судовые запасы P_z , балласт P_b и их размещение на судне Q . Партию груза, к которой имеется свободный доступ для выгрузки, обозначим \tilde{P}_i . Поэтому:

$$G = \{ \cup P_i, P_b, P_z, Q \}.$$

После завершения грузовых операций в порту отправления начальная загрузка судна

$$G_o = \{ \tilde{P}_i \cup P_i, P_b, P_z, Q_o \}$$

должна обеспечить доступность к грузам, выгружаемым в первом порту разгрузки, обеспечить допустимое мореходное состояние $M_o \in Mn_{sf}$ (здесь Mn_{sf} - множество безопасных мореходных состояний) и значение сил инерции качки F_{jk} в допустимых пределах, т. е.

$$F_{jko} < F_{jd}.$$

Отметим, что будем различать размещение груза Q_c и балласта Q_b .

$$G_o = \{ \tilde{P}_i \cup P_i, Q_{co}, P_z, P_{bo}, Q_{bo} \} \quad \text{или}$$

$$G_o = \{ G_{co}, P_{bo}, Q_{bo} \}, \quad \text{где}$$

$G_{co} = \{\tilde{p}_1 \cup p_i, Q_{co}, P_z\}$ - размещение груза на судне, допуская неизменным значение P_z .

После выгрузки в первом порту загрузка $G_1 = \{\tilde{p}_2 \cup p_i, Q_{c1}, P_z, P_{b1}, Q_{b1}\}$ или

$G_1 = \{G_{c1}, P_{b1}, Q_{b1}\}$. Загрузка судна после сдачи груза в s -м порту формально выражается следующим образом:

$$G_s = \{G_{cs}, P_{bs}, Q_{bs}\},$$

причем $G_{cs} = \{\tilde{p}_{s+1} \cup p_i, Q_{cs}, P_z\}$.

Таким образом, каждая из загрузок судна G_s должна отвечать требованию свободного доступа к грузу, который должен выгружаться в следующем порту и обеспечивать мореходную безопасность $M_s \in Mn_{sf}$, как и допустимость сил инерции на качке $F_{jks} < F_{jd}$, на предстоящем переходе. Формально это можно выразить следующим образом:

$$G_s = \{G_{cs}, P_{bs}, Q_{bs}\},$$

$$G_{cs} = \{\tilde{p}_{s+1} \cup p_i, Q_{cs}, P_z\}, \quad (s=0 \dots n-1)$$

$$M_s \in Mn_{sf},$$

$$F_{jks} < F_{jd},$$

где n – число портов выгрузки.

Для формирования последовательности загрузок судна G_s , удовлетворяющих указанным требованиям, учитываем, что размещение груза G_{cs} в каждой загрузке судна включено в предыдущее $G_{c(s-1)}$. Следовательно, начальное размещение груза G_{co} содержит все последующие размещения G_{cs} и справедливы соотношения:

$$G_{cs} \subset G_{co}, \quad (s=0 \dots n-1)$$

$$\bigcup_{s=1}^{n-1} G_{cs} = G_{co}.$$

Поэтому при формировании начальной загрузки G_o необходимо начинать с определения допустимой последней загрузки $G_{c(n-1)}$ перед сдачей груза в последнем порту, а затем пошагово перемещаться к предыдущей загрузке, пока не будет получена начальная загрузка.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим формирование загрузки партии груза $G_{c(n-1)}$ перед ее сдачей в последнем порту, полагая прием контейнеров в одно грузовое помещение, причем будем считать, что все контейнеры имеют одинаковые размеры, а центр тяжести контейнера совпадает с его геометрическим центром.

Грузовое помещение имеет сотовый тип, причем ячейка соты является потенциальным контейнерным

местом. Положение центра ячейки в грузовом помещении задается относительно судовой системы координат и характеризуется координатами X_s, Y_s и Z_s , где s – индекс ячейки в грузовом помещении. Массу каждого контейнера обозначим m_j , где j – индекс контейнера в партии.

Загрузка предусматривает размещение контейнеров по ячейкам грузовых помещений, т. е. масс m_j по координатами X_s, Y_s, Z_s , таким образом, чтобы выполнялись требования по посадке, остойчивости и прочности судна. Допускаем, что суммарный вес контейнеров не превосходит грузоподъемности, а их количество $N_{\Sigma c}$ равно числу ячеек грузового помещения $N_{\Sigma b}$, т. е. $N_{\Sigma c} = N_{\Sigma b}$.

Грузовое помещение можно представить в виде трехмерной матрицы, столбцы которой характеризуют расположение ячеек в грузовом помещении по длине судна, строки - по его ширине, а ярусы - по высоте.

Так как первой формируется загрузка для множества контейнеров последнего N_p -го порта, то рассматриваем множество контейнеров Mn_{Np} с массой m_{Npj} .

Загружаемая партия помещается в центральном трюме судна, через который проходит мидельшпангоут. Рассмотрим две системы координат: одна, связанная с судном - стандартная, а вторая - система координат, связанная с грузовым помещением, начало которой определяется в судовой системе координат. Для рассматриваемого случая система координат трюма совпадает с судовой системой координат. Структура трюма характеризуется упорядоченными ячейками в трехмерном пространстве, причем размеры ячейки равны размерам контейнера $\Delta x, \Delta y$ и Δz , а число бейтов равно a , число ярусов - c и число контейнеров в ярусе - b . Формализация структуры трюма целесообразна трехмерной матрицей, элементами которой являются координаты геометрического центра ячеек X_i, Y_j и Z_k ($i=1..a, j=1..b, k=1..c$).

Очевидно, с учетом размеров контейнера, как следует из рис. 1:

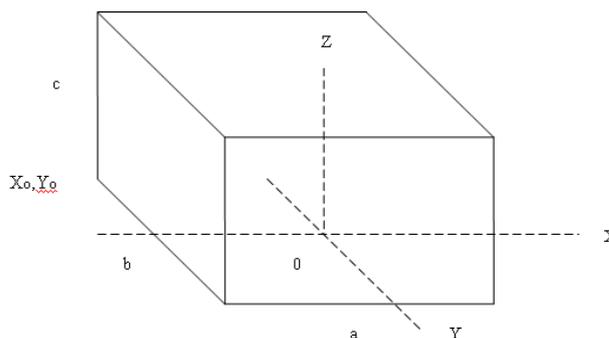


Рис. 1. Система координат грузового помещения

$$\begin{aligned} x_i &= X_o + \frac{2i-1}{2} \Delta x, \\ y_j &= Y_o + \frac{2j-1}{2} \Delta y, \\ z_k &= Z_o + \frac{2k-1}{2} \Delta z. \end{aligned}$$

Учитываем, что $X_o = -\frac{a}{2} \Delta x$, $Y_o = -\frac{b}{2} \Delta y$ и $Z_o = 0$:

$$\begin{aligned} x_i &= \left(\frac{2i-1}{2} - \frac{a}{2}\right) \Delta x, \\ y_j &= \left(\frac{2j-1}{2} - \frac{b}{2}\right) \Delta y, \\ z_k &= \frac{2k-1}{2} \Delta z. \end{aligned}$$

Число контейнеров и число ячеек трюма равны abc . Множество контейнеров Mn_{Np} с массами m_{Nps} необходимо распределить по ячейкам, т. е. загрузка подразумевает дополнение каждого элемента матрицы скалярной величиной, равной весу контейнера. Теперь каждый элемент матрицы характеризуется координатами x_i , y_j , z_k и весом gm_{ijk} . Данное обстоятельство преобразует матрицу в тензор загрузки.

Приращения статических моментов ΔM_x , ΔM_y и ΔM_z , которые возникают в результате приема груза, зависят от элементов тензора загрузки следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta M_x &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c gm_{ijk} x_i; \\ \Delta M_y &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c gm_{ijk} y_j; \\ \Delta M_z &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c gm_{ijk} z_k. \end{aligned}$$

С учетом ранее полученных выражений для x_i , y_j и z_k :

$$\begin{aligned} \Delta M_x &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c gm_{ijk} \left(\frac{2i-1}{2} - \frac{a}{2}\right) \Delta x; \\ \Delta M_y &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c gm_{ijk} \left(\frac{2j-1}{2} - \frac{b}{2}\right) \Delta y; \quad (1) \\ \Delta M_z &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c gm_{ijk} \left(\frac{2k-1}{2}\right) \Delta z. \end{aligned}$$

Для обеспечения мореходной безопасности приращения статических моментов ΔM_x , ΔM_y и ΔM_z должны удовлетворять следующим требованиям:

$$\Delta M_x = \Delta M_d; \Delta M_y = 0; \Delta M_z = \Delta M_h,$$

где ΔM_d и ΔM_h - моменты, которые обеспечи-

вают требуемые значения дифферента, остойчивости и общей продольной прочности судна.

В уравнениях (1) вакантные массы m_{ijk} в тензоре загрузки необходимо заместить массами m_{Nps} контейнеров множества Mn_{Np} таким образом, чтобы разница между правой и левой частями каждого из уравнений была минимальна.

Прежде всего, необходимо проверить, возможно ли обеспечить приращением момента ΔM_d весом контейнеров множества Mn_{Np} . В случае положительного результата проверки формирование тензора загрузки производится следующим образом.

Первым этапом формирования тензора загрузки является распределение контейнеров по бейтам трюма, следуя следующим соображениям. Суммарный вес P_Σ загружаемых контейнеров множества Mn_{Np} разделим на число бейтов и получим средний вес контейнеров бейта $P_{cp} = P_\Sigma / a$.

Для создания необходимого дифферента, который обеспечивается приращением момента ΔM_d , необходимо изменить средний вес бейта P_{cp} на величину, кратную некоторому весу ΔP .

В результате проведенного исследования распределение веса P_Σ всех загружаемых контейнеров по бейтам должно осуществляться согласно зависимостям:

$$P_i = P_{cp} + \left[\frac{a}{2} - (i-1)\right] \Delta P \quad (i \leq a/2)$$

$$P_i = P_{cp} - \left[\frac{a}{2} - (i-1)\right] \Delta P, \quad (i > a/2)$$

где $\Delta P = \frac{\Delta M_d}{2 \Delta x \Phi(a)}$ и

$$\Phi(a) = \sum_{i=1}^{a/2} \left\{ \left[\frac{a}{2} - (i-1)\right] \left[\frac{a-1}{2} - (i-1)\right] \right\}.$$

Множество контейнеров Mn_{Np} с весами P_{cj} необходимо разместить по бейтам, учитывая, что число контейнеров каждого бейта одинаково и равно $n_a = bc$, а вес каждого бейта был максимально близок к полученному значению P_i .

Для соблюдения указанных условий множество контейнеров Mn_{Np} следует разделить на a подмножеств Mn_a с одинаковым числом контейнеров n_a , учитывая что вес контейнеров каждого подмножества Mn_a (бейта) должен быть максимально близок к P_i .

Для решения указанной задачи предлагается следующая процедура. Прежде всего, производится ранжирование контейнеров в последовательности убывания их веса, т. е. элементы множества Mn_{Np} упорядочиваются по признаку веса. Множество Mn_{Np} представляется последовательностью весов контейнеров

$P_{ci} \succ$, причем $P_{ci} \geq P_{ci+1}$, т. е. первым членом последовательности является контейнер с максимальным весом P_{c1} , а последним - контейнер с минимальным весом P_{cd} . Другими словами, последовательность $P_{ci} \succ = \{P_{c1} \geq P_{c2} \geq \dots \geq P_{cd-1} \geq P_{cd}\}$ в дальнейшем рассматриваем в качестве множества Mn_{Np} .

Формирование первого бейта с максимальным весом P_1 производится с помощью ранее полученной последовательности $P_{ci} \succ$. Из нее необходимо выделить фрагмент из n_a последовательных контейнеров $\{P_{ci}\}_1 \succ$ суммарный вес которых \tilde{P}_1 минимально отличается от расчетного значения P_1 . Допустим, фрагмент последовательности $\{P_{ci}\}_1 \succ$ начинается контейнером с порядковым номером N_{n1} последовательности $P_{ci} \succ$ и заканчивается контейнером с ее порядковым номером N_{k1} . Следовательно, первый бейт составляют контейнеры последовательности $P_{ci} \succ$ заключенными от N_{n1} -го до N_{k1} -го контейнеров включительно, которые составляют фрагмент $\{P_{ci}\}_1 \succ$. Для данного фрагмента $P_1 - \tilde{P}_1 = \min$, а через Sr_1 обозначим подмножество контейнеров первого бейта.

Для формирования очередного второго бейта следует воспользоваться оставшейся последовательностью $P_{ci}^1 \succ = P_{ci} \succ - \{P_{ci}\}_1 \succ$, причем

$$P_{ci}^1 \succ = \{P_{c1} \geq P_{c2} \geq \dots \geq P_{cN_{n1}-1} \geq P_{cN_{k1}+1} \dots \geq P_{cd-1} \geq P_{cd}\}.$$

В дальнейшем из полученной последовательности $P_{ci}^1 \succ$ аналогично предыдущему выделяется фрагмент $\{P_{ci}^1\}_2 \succ$ из n_a последовательных контейнеров, суммарный вес \tilde{P}_2 которых минимально отличается от расчетного значения P_2 . Выделенные контейнеры составляют подмножество Sr_2 второго бейта.

Для формирования последующих бейтов (подмножеств Sr_i) продолжаем реализацию процедуры, состоящей из двух этапов. Во-первых, модифицируем предыдущую последовательность $P_{ci}^{k-1} \succ$, исключая из нее выделенный фрагмент $\{Pk_{ci}^{k-1}\}_k \succ$, и получим очередную модифицированную последовательность $P_{ci}^k \succ$, которая на n_a контейнеров короче предыдущей. Вторым этапом является выделение из последовательности $P_{ci}^k \succ$ фрагмента $\{Pk_{ci}^k\}_{k+1} \succ$, содержащего n_a последовательных контейнеров, суммарный вес \tilde{P}_{k+1} которых минимально отличается

от расчетного значения P_{k+1} . По такому алгоритму формируется a-1 бейт. Последняя модифицированная последовательность $P_{ci}^{a-1} \succ$ содержит n_a оставшихся контейнеров, которые и составляют последний a-й бейт, формируя подмножество Sr_a , причем его вес \tilde{P}_a минимально отличается от P_a .

Таким образом производится декомпозиция исходного множества контейнеров Mn_{Np} по бейтам Sr_i в виде последовательностей $\{Pk_{ci}^{k-1}\}_k \succ$, при этом обеспечивается необходимый дифферент судна.

Затем в каждом из бейтов необходимо распределить количество $n_a = bc$ контейнеров по c ярусам, в каждом из которых находится b контейнеров. Распределение контейнеров по ярусам в бейтах должно обеспечить необходимое приращение момента ΔM_h , который является суммой приращений ΔM_{hi} каж-

$$\text{дого бейта, т. е. } \Delta M_h = \sum_{i=1}^{ai} \Delta M_{hi}.$$

Распределение контейнеров бейта по ярусам производим, добиваясь формирования приращения ΔM_{hi} . Для этого следует определить требуемый (теоретический) вес контейнеров k-го яруса \bar{P}_{yk}^i , учитывая, что с изменением яруса он также изменяется пропорционально приращению веса ΔP_{hi} относительно среднего веса яруса в бейте $P_{mi} = \frac{\tilde{P}_i}{c}$.

С помощью первой процедуры вес яруса убывает с увеличением его номера (снизу вверх), т. е. нижний ярус имеет наибольший вес, а верхний является наиболее легким. В этом случае, полагая, что вес среднего яруса равен P_{mi} , получим:

$$\bar{P}_{yk}^i = P_{mi} + (S_k - k)\Delta P_{hi},$$

где $S_k = \text{Trunc}(c/2) + 1$, при c - нечетном и $S_k = c/2$, при c - четном.

Значение ΔP_{hi} определяется формулой:

$$\Delta P_{hi} = \frac{\Delta M_{hi} - P_{mi} \Delta z \sum_{k=1}^c (k-0,5)}{\Delta z \sum_{k=1}^c (S_k - k)(k-0,5)}$$

Располагая теоретическими весами каждого яруса \bar{P}_{yk}^i i-го бейта, необходимо подобрать на каждый ярус b контейнеров, суммарный вес которых \hat{P}_{yk}^i минимально отличается от \bar{P}_{yk}^i .

Затем контейнеры подмножеств Sr_{ik} размещаются по ячейкам поперечного ряда i-го бейта k-го яруса (строка тензора) так, чтобы веса контейнеров яруса

P_{cik} создавали минимальный момент M_{yik} :

$$M_{yik} = \sum_{j=1}^b P_{cik} \left(\frac{2j-1}{2} - \frac{b}{2} \right) \Delta y.$$

Причем минимизация суммарного момента M_y при размещении контейнеров подмножества Sp_{ik} производится путем учета его значения, накопившегося при размещении контейнеров во всех предыдущих ярусах, включая уже сформированные бейты.

В случае создания минимального момента инерции принимаемого груза J_{xc} относительно продольной оси X-X размещение контейнеров подмножества Sp_{ik} следует производить так, чтобы контейнеры с большими массами находились ближе к центру трюма, а с уменьшением масс размещение контейнеров производилось ближе к бортам. Для создания максимального момента инерции J_{xc} ближе к центру трюма следует размещать контейнеры с меньшими массами, а ближе к бортам – контейнеры с большими массами.

Для проверки корректности предложенных в данной статье процедур формирования загрузки грузового помещения без приема балласта была разработана компьютерная программа, позволяющая формировать

исходное множество контейнеров Mn_{Nr} и их размещение в грузовом помещении. В качестве примера была сгенерировано множество контейнеров численностью 300 штук, общим весом 3000 тонн, причем вес контейнера заключен в пределах от 3,4 до 16,5 т.

В примере приняты следующие размеры контейнера: длина $\Delta x = 7$ м, ширина $\Delta y = 4$ м, $\Delta z = 3$ м. Грузовое помещение характеризуется $a=6$ бейтами, в каждом бейте число ярусов равно $c=5$, а число контейнеров в ярусе $b=10$.

Требуемые приращения статических моментов, принятые в примере, составляют $\Delta M_d = -5000$ тм, $\Delta M_h = 22000$ тм.

На рис. 2 приведены веса контейнеров исходного множества Mn_{Nr} , причем цвет контейнера зависит от его веса: при весе до 5 т контейнеры окрашены в коричневый цвет; при весе 5÷10 т цвет контейнеров зеленый; в синий цвет окрашены контейнеры весом 10÷15 т, а красным цветом окрашены контейнеры весом 15÷20 т. Обращаем внимание на то обстоятельство, что в границах одного цвета с увеличением веса цвет контейнера темнее.

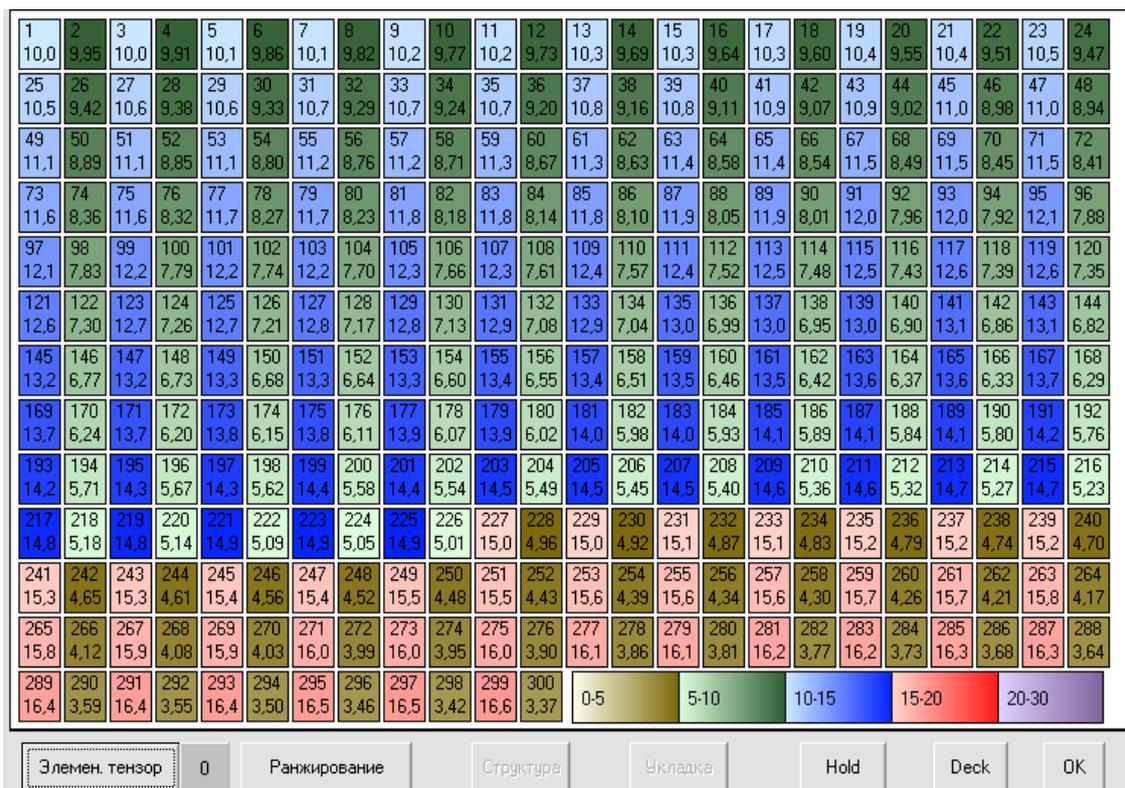


Рис. 2. Исходное множество контейнеров Mn_{Nr}

Программой проводится ранжирование множества контейнеров Mn_{Nr} по весам и его результаты представлены на рис. 3. Для каждого из 300 контейнеров в верхней части указан его номер в исходном множестве, а в нижней части - вес контейнера. Как показано на рис. 3, контейнеры ранжированы по снижению

веса от 16,6 т до 3,37 т.

Компьютерной программой предусмотрена процедура проверки возможности создания требуемого дифферента только приемом предусмотренного груза без приема балласта. При положительном исходе проверки партия загружаемых контейнеров распределяется по бейтам грузового помещения таким образом,

чтобы обеспечить требование по посадке судна и допустимости перерезывающих сил и изгибающих моментов.

При использовании клавиши "Структура" программа производит распределение контейнеров по бейтам грузового помещения, причем каждый бейт формируется 50-ю контейнерами, как показано на рис. 4.

При использовании клавиши "Бейт" программой производится распределение контейнеров каждого из бейтов по ярусам.

На рис. 5 приведенное расположение ярусов Sp_{ik} в каждом из бейтов грузового помещения. На рисунке первый бейт показан в верхней левой части, а в правой верхней части - четвертый бейт. Нумерация бейтов возрастает сверху вниз. Обращаем внимание на то, что в каждом из бейтов нижний (первый) ярус, судя по весам контейнеров его составляющих, является наиболее тяжелым, а верхний (пятый) ярус - наиболее легким. Уменьшение веса яруса происходит по мере увеличения его номера.

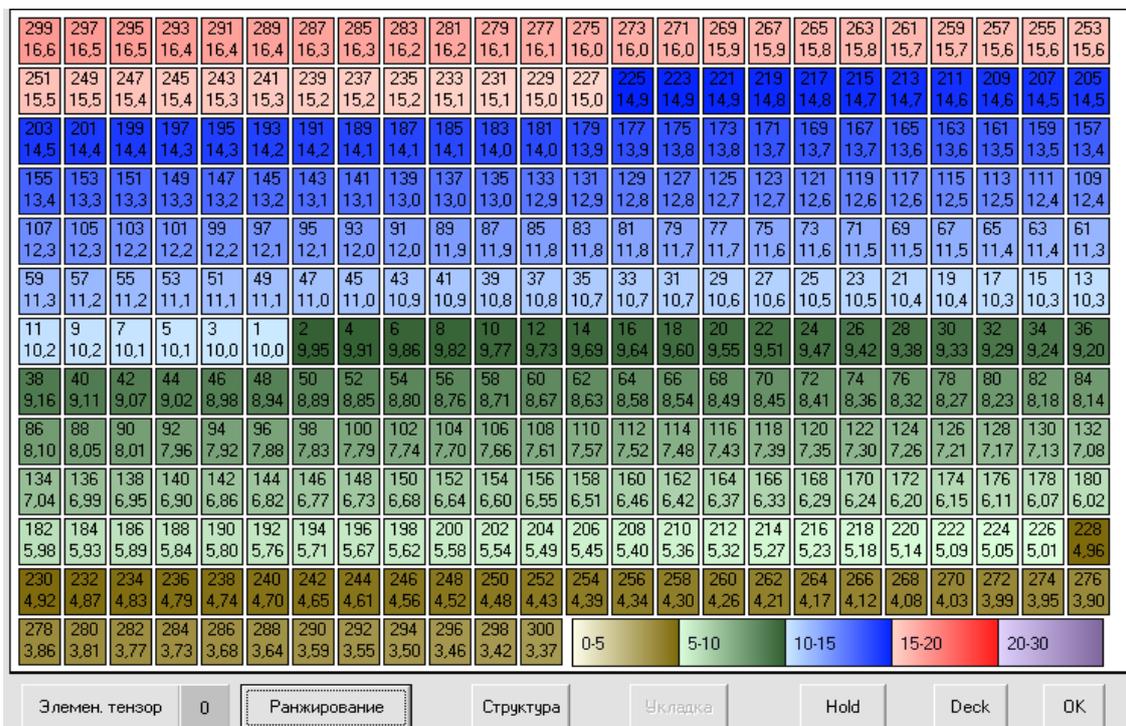


Рис. 3. Ранжирование множества контейнеров Mn_{Np} по весам

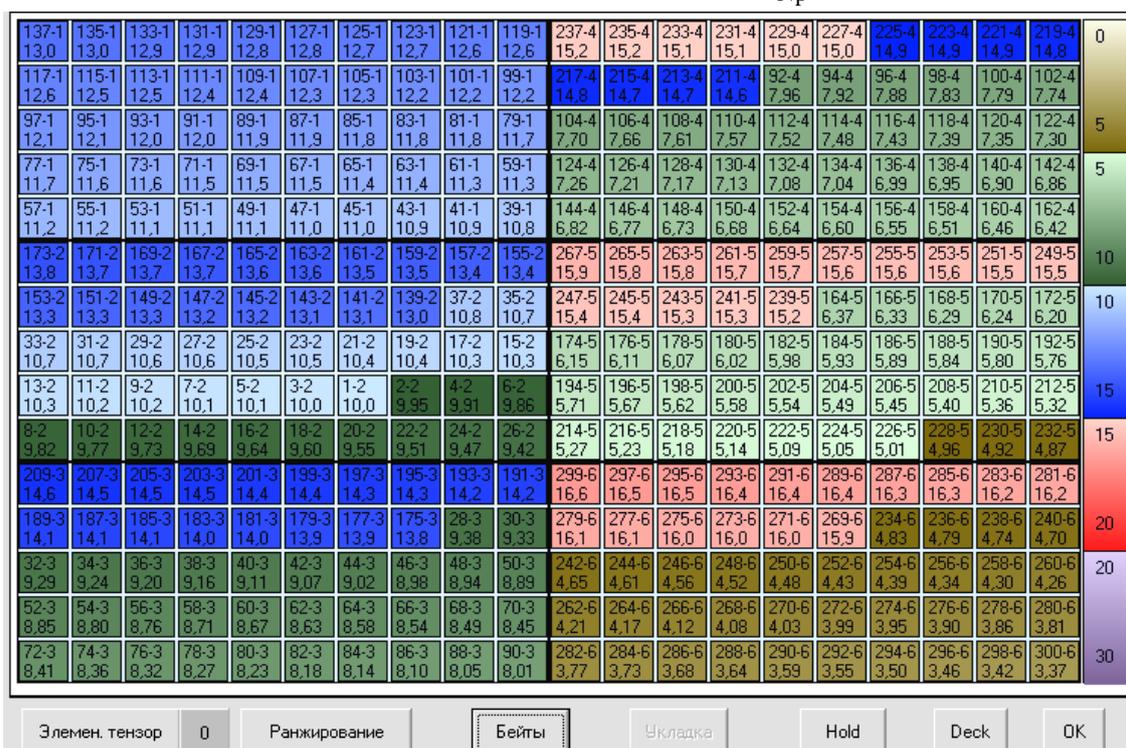


Рис. 4. Формирование бейтов Sp_i

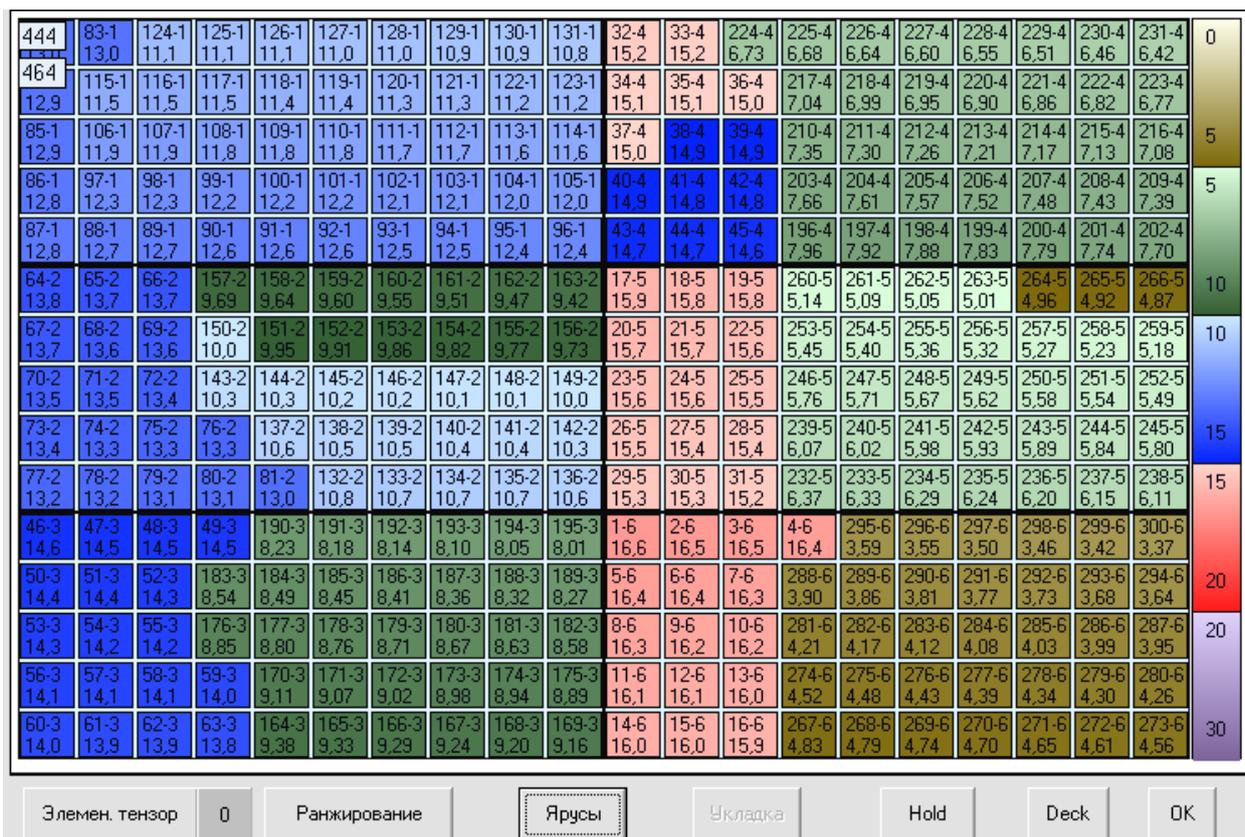


Рис. 5. Формирование ярусов Sp_{ik}

Распределение контейнеров в ярусе с целью создания минимального близкого к нулю момента M_y производится при использовании клавиши "Ярусы", при этом задействована процедура формирования минимального момента инерции принимаемого груза относительно продольной оси судна, что следует из рис. 6. Из рисунка видно, что более тяжелые контейнеры яруса расположены ближе к центру трюма. По-

лученное распределение контейнеров по ячейкам грузового помещения представляет собой допустимый тензор загрузки, обеспечивающий заданные значения приращений статических моментов ΔM_d и ΔM_h , при которых выполняются требования по посадке, устойчивости судна и его общей предельной прочности.

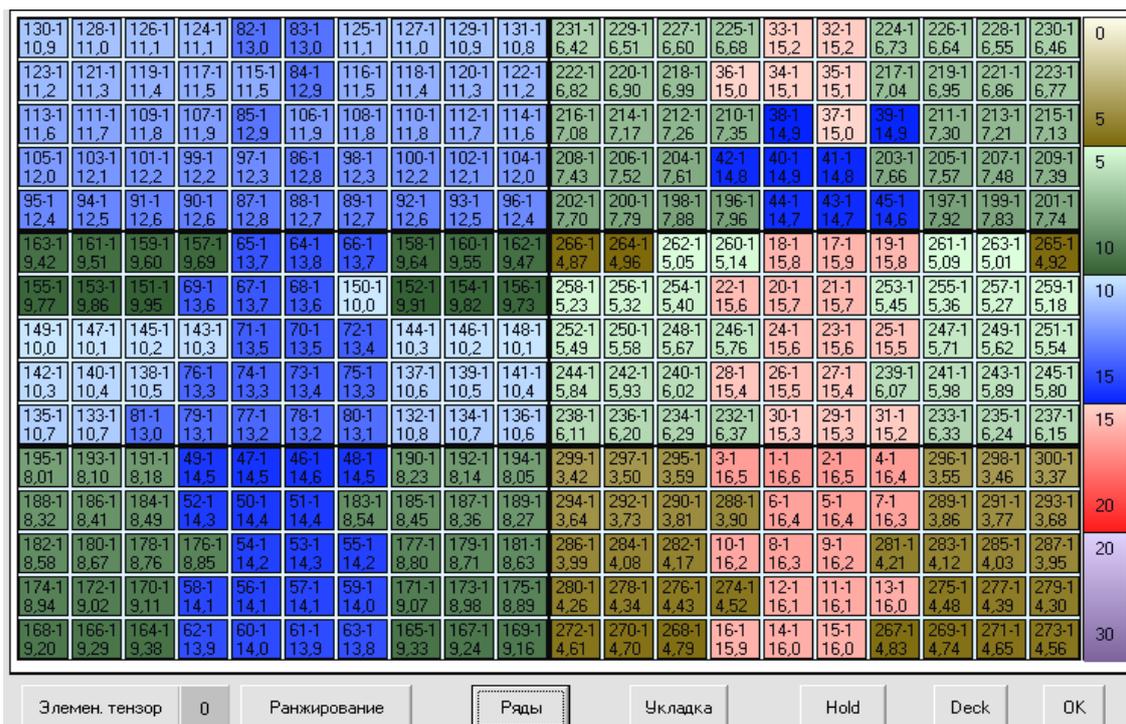


Рис. 6. Размещение контейнеров в ярусах Sp_{ik}

Выводы

1. Предложены процедуры размещения контейнеров по бейтам и ярусам грузового помещения с учетом требований по мореходной безопасности судна.
2. Приведены аналитические выражения для формирования допустимого тензора загрузки судна.

мирования допустимого тензора загрузки судна.

3. Показано формирование допустимого тензора загрузки судна с помощью разработанной компьютерной программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сизов В.Г. Теория корабля. – Одесса: Феникс, 2003. – 282 с.
2. Xia Jinzhu. A dynamic model for roll motion of ships due to flooding / Xia Jinzhu, Jensen Jorgen, Pedersen Preben Ternstrup // Schiffstechnik. – 1999. – 46, № 4. – P. 208-216.
3. Simonovich Milivoje. The correlation of ship hull form and her static stability diagram./ Simonovich Milivoje, Sizov Victor G, Vorobjov Yuri L. // 21 Jugosloven. kongr. teor. i primenjene meh., Nis. 29 maj – 3 jun. - 1995. - P. 167-173.
4. RO-RO ship/ferry with buoyancy tanks to prevent capsizing/ Заявка 2264665 Великобритания МКИ6 В 63 В 43/12 / Shatawy Ahmed Ahmed El. - № 9422061.3; Заявл. 2.11.94; Оpubл. 8.5.96; НКИ В7А.
5. Wan Zheng. Estimation of ultimate strength of ship`s hull girders./ Wan Zheng, He Fu. // Ship Mech. - 2003. - 7, № 3. - P. 58-67.
6. Miller Lutz. Advanced calculation techniques for ship

- structural design./ Miller Lutz.// Germ. Maritime Ind. J. - 1992. - 8, Спец. Issue. - P. 37 - 40.
7. Kulesh Victor A. Computer investigation of construction reliability / Kulesh Victor A. // Proc. 6th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., Los Angeles, Calif., May 26-31, 1996. Vol. 4. – Golden (Golo), 1996. – p. 395-401.
8. Чепок А.О. Разработка процедуры отображения укладки генерального груза в трюмах судна / Чепок А.О. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 20. – Одесса: «ИздатИнформ», 2011. – С. 243–246.
9. Васьков Ю.Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов / Васьков Ю.Ю. // Судовождение. – № 6. – 2003. – С. 40 – 45.
10. Власенко Е.А. Некоторые особенности составления грузового плана контейнеровозов/ Власенко Е.А., Цымбал Н.Н.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2018 - С.

REFERENCES

1. Sizov V.G. Theory of ship. - Odessa: Phenix, 2003. – 282 p.
2. Xia Jinzhu. A dynamic model for roll motion of ships due to flooding / Xia Jinzhu, Jensen Jorgen, Pedersen Preben Ternstrup // Schiffstechnik. – 1999. – 46, № 4. – P. 208-216.
3. Simonovich Milivoje. The correlation of ship hull form and her static stability diagram./ Simonovich Milivoje, Sizov Victor G, Vorobjov Yuri L. // 21 Jugosloven. kongr. teor. i primenjene meh., Nis. 29 maj – 3 jun. - 1995. - P. 167-173.
4. RO-RO ship/ferry with buoyancy tanks to prevent capsizing/ Заявка 2264665 Великобритания МКИ6 В 63 В 43/12 / Shatawy Ahmed Ahmed El. - № 9422061.3; Заявл. 2.11.94; Оpubл. 8.5.96; НКИ В7А.
5. Wan Zheng. Estimation of ultimate strength of ship`s hull girders./ Wan Zheng, He Fu. // Ship Mech. - 2003. - 7, № 3. - P. 58-67.
6. Miller Lutz. Advanced calculation techniques for ship

- Ind. J. - 1992. - 8, Спец. Issue. - P. 37 - 40.
7. Kulesh Victor A. Computer investigation of construction reliability / Kulesh Victor A. // Proc. 6th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., Los Angeles, Calif., May 26-31, 1996. Vol. 4. – Golden (Golo), 1996. – p. 395-401.
8. Чепок А.О. Development of procedures of reflection of piling of general load in the holds of ship / Чепок А.О. // Sb. nauchn. trudov./ONMA, Vyp. 26. – Odessa: «IzdatInform», 2011. – P. 243–246.
9. Vaskov Yu.Yu. Some questions of optimization of cargo operations of loading vessels / Vaskov Yu.Yu. // Sudovozhdenie. – № 6. – 2003. – P. 40 – 45.
10. Vlasenko Ye.A. Some features of drafting of the freight plan контейнеровозов/. Vlasenko Ye.A., Tsymbal H.H.// Navigator: Sb. nauchn. labours./ NU «ОМА», Vyp. 28. - Odessa: «YzdatYnform», 2018 - P. 35-41.

Possible loading of containership

Y. A. Vlasenko

Abstract. The features of calculation of load of containership taking into account substantial factors are marked. The situation of placing of party of load is considered, intended for unloading in the last port of entry. Developed and procedures of placing of containers are offered on beys and tiers of freight apartment taking into account the requirements on landing, stability and general longitudinal durability of ship. Analytical dependences for forming of possible tensor of loading of ship by containers are resulted. By the developed computer program the example of forming of possible tensor of loading of ship providing the minimum of reception of ballast is resulted.

Keywords: nautical safety, load of containership, forming of possible tensor of loading.