

УДК 628.12.001

## ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНА ЗАГРУЗКИ КОНТЕЙНЕРОВОЗА

**Цымбал М. Н.**, аспирант Национального университета «Одесская морская академия», ORCID: 0000-0002-7372-7134

*В работе рассмотрены вопросы размещения контейнеров при загрузке судна с учетом последовательности портов выгрузки для обеспечения доступа к необходимым партиям, а также то обстоятельство, что промежуточные состояния загрузки судна при переходе между портами должны отвечать требованиям его мореходной безопасности, а возникающие силы инерции находятся в допустимых пределах.*

*Приведены выражения для расчета приращений статических моментов относительно осей судна, которые возникают в результате приема партий контейнеров загрузки судна. Предложены процедуры определения предельно-граничных значений моментов, которые обеспечивают допустимый дифференциал судна. Также получены аналитические выражения, с помощью которых определяется распределение веса партий загрузки, обеспечивающего необходимый дифференциал судна и его общую продольную прочность.*

*Для подтверждения корректности предлагаемого способа с помощью компьютерной программы была сформирована загрузка судна «Скай Джеймени» тремя партиями контейнеров. Рассмотренная загрузка удовлетворяет требованиям мореходной безопасности.*

**Ключевые слова:** мореходная безопасность судов, загрузки контейнеровозов, планирование размещения контейнеров партии, имитационное моделирование загрузки судна.

**DOI: 10.33815/2313-4763.2020.1.22.064-073**

**Постановка проблемы.** Размещение контейнеров при загрузке судна в нескольких портах необходимо производить с учетом последовательности портов выгрузки, обеспечивая возможность доступа к необходимым партиям. Также следует учитывать, что промежуточные состояния загрузки судна при переходе между портами должны отвечать требованиям его мореходной безопасности, а возникающие силы инерции находятся в допустимых пределах.

Вопросам обеспечения мореходной безопасности в силу их актуальности посвящены многие работы современных исследователей.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В работе [1] исследована корреляционная зависимость между формой корпуса судна и его диаграммой статической остойчивости, а также рассмотрена задача синтеза формы корпуса с заданной величиной метацентрической высоты. В работе получено аппроксимированное выражение расчета метацентрической высоты, а в монографии [2] подробно рассмотрены вопросы обеспечения мореходной безопасности судов, в частности, имеющих отношение к их посадке, остойчивости и общей продольной прочности.

Общие принципы оптимизации загрузки навалочных судов рассмотрены в работе [3], а учету особенностей загрузки генеральных грузов и выбору ее оптимального варианта посвящена работа [4].

В работе [5] представлена модель бортовой качки накатных судов с уравновешивающим расположением помещений в ситуации затопления их части и проведено ее исследование. Метод расчета диаграммы нагрузок и анализа последовательного разрушения при заданных начальных деформациях и остаточных напряжениях рассматривается в работе [6], в ней также описаны метод расчета предельной прочности продольных балок корпуса судна и метод подкрепленной панели.

В статье [7] указывается, что на основе многолетнего опыта эксплуатации судов в арктических районах был собран статистический материал, с помощью которого были разработаны методы расчетов запаса надежности судовых конструкций. Патент [8] посвящен способу обеспечения плавучести аварийного судна типа RO-RO и паромов, причем способом предусмотрено использование закрытых емкостей, которые установлены по бортам и под палубой вдоль и поперек судна.

В статті [9] пропонується процедури розміщення контейнерів по бейтам і ярусам грузового приміщення з урахуванням вимог морської безпеки судна і наведені аналітичні вирази для формування допустимого тензора завантаження судна. В роботі показано, що грузовий приміщення має сотовий тип, причому комірка соти є потенційним контейнерним місцем. Різні чисельні методи оцінки міцності і вібрації судна описуються в роботі [10] і показано, що найбільш ефективним є метод кінцевих елементів.

**Ціль статті.** Ціллю нинішньої статті є розгляд способу формування плану завантаження контейнерного судна.

**Изложение основного материала.** Як показано в роботі [9], при плануванні рейсу судна необхідно починати з останньої завантаження судна  $G_{N-1}$  перед виходом в останній  $N$ -й порт, причому завантаження складається з  $P_i^N$  партій контейнерів, т. є.  $G_{N-1} = \cup P_i^N$ . Дане завантаження, як і інші, повинно задовольняти вимогам морської безпеки. Розглянемо цей питання більш детально.

Приращення статических моментів  $\Delta M_x$ ,  $\Delta M_y$  і  $\Delta M_z$ , які виникають в результаті прийому партій контейнерів останньої завантаження судна  $G_{N-1}$  визначаються наступним чином:

$$\Delta M_x = \sum_{k=1}^n W_{i_k}^N X_{i_k}^N;$$

$$\Delta M_y = \sum_{k=1}^n W_{i_k}^N Y_{i_k}^N;$$

$$\Delta M_z = \sum_{k=1}^n W_{i_k}^N Z_{i_k}^N;$$

$$W_i^N = \sum_{k=1}^n W_{i_k}^N,$$

де  $n$  – кількість грузових приміщень;  $W_{i_k}^N$  – вага вантажу частини партії  $P_i^N$  в  $k$ -му приміщенні;  $X_{i_k}^N$ ,  $Y_{i_k}^N$  і  $Z_{i_k}^N$  – координати центру ваги частини партії  $P_i^N$ .

Для забезпечення морської безпеки приращення статических моментів  $\Delta M_x$ ,  $\Delta M_y$  і  $\Delta M_z$  повинні задовольняти наступним вимогам:

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

де  $\Delta M_d$  і  $\Delta M_h$  – множини моментів, які забезпечують потрібні значення диференціала, стійкості і загальної продольної міцності судна.

Розглянемо процедуру оцінки множин моментів  $\Delta M_d$  і  $\Delta M_h$ . Насамперед зауважимо, що в результаті завантаження контейнерів диференціал судна  $d$  повинен знаходитися в межах від 0 до  $-2,0$  м. З вказаного інтервалу вибирається диференціал, якому відповідає розміщення контейнерів, що задовольняє вимогам продольної міцності. Тому для завантаження необхідно знайти граничні значення моменту  $M_{x(0)}$  і  $M_{x(-2)}$ , які забезпечують диференціал судна 0 і  $-2,0$  м. Для цього скористаємося відомими залежностями [2]:

$$M_x = D(x_g - x_c), d = M_x / \bar{M},$$

где  $x_g$  и  $x_c$  – соответственно абсцисса центра тяжести судна и абсцисса центра величины, соответствующая водоизмещению  $D$ ;  $\bar{M}$  – момент, дифференцирующий судно на один сантиметр.

Очевидно, в этом случае:

$$x_g = x_c + \frac{d\bar{M}}{D}.$$

С другой стороны:

$$x_g = \frac{M_{Xp} + M_{Xz} + M_{Xb} + M_{Xc}}{D},$$

где  $M_{Xp}$ ,  $M_{Xz}$ ,  $M_{Xb}$ , и  $M_{Xc}$  – составляющие момента  $M_X$  соответственно судна порожнем, запасов, балласта и груза.

Очевидно, интересующая нас составляющая  $M_{Xc}$ , возникающая от загрузки контейнеров, с учетом двух последних равенств, определяется из выражения:

$$M_{Xc} = Dx_c + d\bar{M} - \Delta\tilde{M}_X,$$

где  $\Delta\tilde{M}_X = M_{Xp} + M_{Xz} + M_{Xb}$ , или  $\Delta\tilde{M}_X = M_{Xconst} + M_{Xb}$ .

Причем  $M_{Xconst} = M_{Xp} + M_{Xz}$  – постоянная величина.

Поэтому граничные моменты  $M_{Xc(0)}$  и  $M_{Xc(2)}$  партий контейнеров загрузки рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} M_{Xc(0)} &= D_1 x_{c1} - \Delta\tilde{M}_X; \\ M_{Xc(2)} &= D_1 x_{c1} - 200\bar{M} - \Delta\tilde{M}_X, \end{aligned}$$

где  $D_1$  – водоизмещение судна после загрузки.

Очевидно, множество  $\Delta M_d = [M_{Xc(0)}, M_{Xc(2)}]$ .

Аналогично определяется граничное значение статического момента  $M_{Z^*}$ , при котором метацентрическая высота равна минимальному значению 0,15 м. По определению:

$$h = Z_m - Z_g = 0,15 \text{ и } Z_g = \frac{M_{Z^*}}{D}.$$

Следовательно,

$$M_{Z^*} = D(Z_m - 0,15).$$

Так как  $M_{Z^*} = M_{Zc^*} + \Delta\tilde{M}_Z$ , где величина  $\Delta\tilde{M}_Z = M_{Zp} + M_{Zz} + M_{Zb}$ , то предельный статический момент  $M_{Zc^*}$ , создаваемый партиями загруженных контейнеров, определяется выражением:

$$M_{Zc^*} = D(Z_m - 0,15) - \Delta\tilde{M}_Z.$$

В рассматриваемом случае  $\Delta\tilde{M}_Z = M_{Zconst} + M_{Zb}$ , где  $M_{Zconst}$  является постоянной величиной.

Для предельно допустимой максимальной метацентрической высоты  $h_{\text{mx}}$  статический момент  $M_{Z_c^*}$  рассчитывается по формуле:

$$M_{Z_c^*} = D(Z_m - h_{\text{mx}}) - \Delta \tilde{M}_Z.$$

Поэтому  $\Delta M_h = [M_{Z_c^*}, M_{Z_c}^*]$ .

В этом случае для обеспечения остойчивости приращение статического момента  $\Delta M_z$  загрузки выбирается следующим образом:

$$\Delta M_z = \sum_j M_{hj} = M_h \in \Delta M_h, \quad (1)$$

где  $M_{hj}$  – вертикальный статический момент, создаваемый  $j$ -й партией загрузки.

Рассмотрим размещение партий контейнеров последней загрузки  $G_{N-1}$  по грузовым помещениям судна, при котором создается заданный дифференцирующий момент  $M_d \in \Delta M_d$ . В этом случае должно выполняться равенство  $\Delta M_x = M_d$ . При этом следует задавать  $M_d$  как можно ближе к среднему значению интервала  $\Delta M_d$ . Так как загрузка  $G_{N-1}$  содержит партии контейнеров  $P_i^N$ , то статический момент  $\Delta M_x$  является суммой моментов  $\Delta M_{xi}$  партий контейнеров  $P_i^N$ , т. е.  $\Delta M_x = \sum \Delta M_{xi}$ . Очевидно, что моменты  $\Delta M_{xi}$  партий целесообразно выбирать пропорционально их весам  $W_i^N$ , т. е.  $\Delta M_{xi} = \Delta M_x \frac{W_i^N}{W_{GN}}$ , где

$W_{GN} = \sum W_i^N$  – суммарный вес контейнеров последней загрузки  $G_{N-1}$ . Партии контейнеров  $P_i^N$  размещаются в соответствующих помещениях  $H_i^N$ , причем под помещением партии подразумевается множество «ячеек» с координатами их центра, количеством, равным числу контейнеров партии. Помещение партии может состоять из нескольких полностью или частично использованных трюмов, «ячейки» которых заполнены без пропусков. Структура помещения представляется баями, ярусами и рядами. Распределение веса партии контейнеров  $P_i^N$  по грузовым помещениям  $H_i^N$ , т.е. контейнеров по «ячейкам» грузовых помещений,  $Q_i^N$  должно создать требуемый момент  $\Delta M_{xi}$ . Этот момент определяется размещением контейнеров по баям помещений  $H_i^N$ .

Распределение веса  $W_{GN}$  партии контейнеров последней загрузки судна  $G_{N-1}$  по грузовым помещениям должно удовлетворять уравнениям:

$$\Delta M_x = \sum \Delta M_{xi} = \sum M_{di} = M_d = \sum_{k=1}^n W_i^N X_i^N;$$

$$\sum_{k=1}^n W_i^N = W_{GN},$$

где  $n$  – число грузовых помещений в наборе  $H_{N-1}$ .

Партия контейнеров  $P_i^N$ , размещенная в грузовых помещениях  $H_i^N$ , должна создавать дифференцирующий момент  $M_{di} = \sum_{j=1}^m \Delta M_{dij}$ , причем создаваемое  $j$ -м грузовым

помещением из набора  $H_i^N$  приращение заданного момента  $\Delta M_{dij}$  имеет следующее выражение:

$$\Delta M_{dij} = \left\{ k_{ij} P_{cpi} + \frac{j X_i^N}{L} \Delta P \right\} X_i^N,$$

где  $k_{ij}$  – часть  $j$ -го грузового помещения, занимаемая партией  $P_i^N$ ;  $L$  – суммарная длина всех грузовых помещений судна;  $j X_i^N$  – абсцисса центра тяжести части партии  $P_i^N$ .

Для всех грузовых помещений набора  $H_i^N$ , в которых размещается партия  $P_i^N$ , справедливо выражение:

$$\sum_{j=1}^m \left\{ k_{ij} P_{cpi} + \frac{j X_i^N}{L} \Delta P \right\} X_i^N = M_{di},$$

из которого

$$\frac{\Delta P}{L} \sum_{j=1}^m (j X_i^N)^2 = M_{di} - \sum_{j=1}^m k_{ij} P_{cpi} j X_i^N,$$

поэтому

$$\Delta P = \frac{L(M_{di} - \sum_{j=1}^m k_{ij} P_{cpi} j X_i^N)}{\sum_{j=1}^m (j X_i^N)^2}, \quad (2)$$

Следовательно, количество груза в  $j$ -м помещении определяется выражением:

$$P_j = k_{ij} P_{cpi} + \frac{j X_i^N}{L} \Delta P$$

или с учетом полученного выражения для расчета  $\Delta P$ :

$$P_j = k_{ij} P_{cpi} + \frac{j X_i^N}{\sum_{j=1}^m (j X_i^N)^2} (M_{di} - \sum_{j=1}^m k_{ij} P_{cpi} j X_i^N).$$

С целью поиска формулы для расчета  $P_{cpi}$  найдем выражение для суммы весов  $P_j$  частей партии  $P_i^N$  по помещениям:

$$\sum_{j=1}^m \left\{ k_{ij} P_{cpi} + \frac{j X_i^N}{\sum_{j=1}^m (j X_i^N)^2} (M_{di} - \sum_{j=1}^m k_{ij} P_{cpi} j X_i^N) \right\} =$$

$$P_{cpi} \sum_{j=1}^m k_{ij} + \frac{1}{\sum_{j=1}^m (j X_i^N)^2} \{ M_{di} \sum_{j=1}^m j X_i^N - P_{cpi} \sum_{j=1}^m [j X_i^N \sum_{j=1}^m k_{ij} j X_i^N] \} = W_i^N,$$

где  $W_i^N$  – вес контейнеров партии  $P_i^N$ .

Введем обозначения постоянных величин  $A = \sum_{j=1}^m j X_i^N$ ,  $B = \sum_{j=1}^m (j X_i^N)^2$ ,

$C = \sum_{j=1}^m [j X_i^N \sum_{j=1}^m k_{ij} j X_i^N]$ ,  $D = \sum_{j=1}^m k_{ij}$  и получим:

$$DP_{\text{срi}} + \frac{1}{B} \{AM_{\text{di}} - CP_{\text{срi}}\} = W_i^N. \quad (3)$$

Из полученного выражения следует:

$$P_{\text{срi}} \left(D - \frac{C}{B}\right) = W_i^N - \frac{A}{B} M_{\text{di}}.$$

Следовательно:

$$P_{\text{срi}} = \frac{W_i^N - \frac{A}{B} M_{\text{di}}}{D - \frac{C}{B}}.$$

Подставляя полученное выражение для величины  $P_{\text{срi}}$  в уравнение (3), убеждаемся в правильности соотношения:

$$D \left( \frac{W_i^N - \frac{A}{B} M_{\text{di}}}{D - \frac{C}{B}} \right) + \frac{1}{B} \left[ AM_{\text{di}} - C \left( \frac{W_i^N - \frac{A}{B} M_{\text{di}}}{D - \frac{C}{B}} \right) \right] = W_i^N.$$

Очевидно, суммарный момент  $\Delta M_{xi}$  по всем грузовым помещениям набора  $H_i^N$ , в которых размещается партия  $P_i^N$ , должен быть равен  $M_{\text{di}}$ :

$$\Delta M_{xi} = \sum_{j=1}^m \left\{ k_{ij} P_{\text{срi}} + \frac{j X_i^N}{L} \Delta P \right\} X_i^N = M_{\text{di}}.$$

Для доказательства в последнее равенство следует подставить выражение (2).

Таким образом, для загрузки партии  $P_i^N$  в помещения  $H_i^N$  и создания необходимого дифференцирующего момента  $M_{\text{di}}$  в каждое  $j$ -е помещение загружается вес:

$$P_j = k_{ij} P_{\text{срi}} + \frac{j X_i^N}{L} \Delta P,$$

причем величина  $P_{\text{срi}}$  рассчитывается с помощью выражения (3), а величина  $\Delta P$  - по формуле (2). Аналогично размещаются остальные партии контейнеров последней загрузки  $G_{N-1}$ .

Для обеспечения остойчивости судна расположение весов контейнеров по ярусам производится с учетом выражения (1).

В качестве примера применения предлагаемого способа рассмотрим формирование загрузки судна «Скай Джемени», которое может принимать контейнеры в восемь трюмов и на их крышки. Размещение контейнеров может производиться в 16 грузовых помещениях (1÷8 трюма и 9÷16 крышки трюмов). В каждом из грузовых помещений можно разместить 192 двадцатифутовых контейнера (четыре бея по шесть ярусов, каждый из которых содержит восемь контейнеров). Судно характеризуется максимальной средней осадкой 13,0 м и максимальным водоизмещением 68318 т. С помощью разработанной программы была сформирована загрузка судна тремя партиями контейнеров, размещение которой показано на рис.1. На рисунке первая партия контейнеров, окрашенная в оранжевый цвет, весом 28800 т. и числом 1920 контейнеров размещена в десяти грузовых помещениях. Вторая партия, желтого цвета, состоящая из 600 контейнеров весом 9000 т, расположена в

четырёх помещениях, а третья партия – в трех. Контейнеры третьей партии окрашены в синий цвет, ее вес составляет 7200 т, и она состоит из 552 контейнеров.

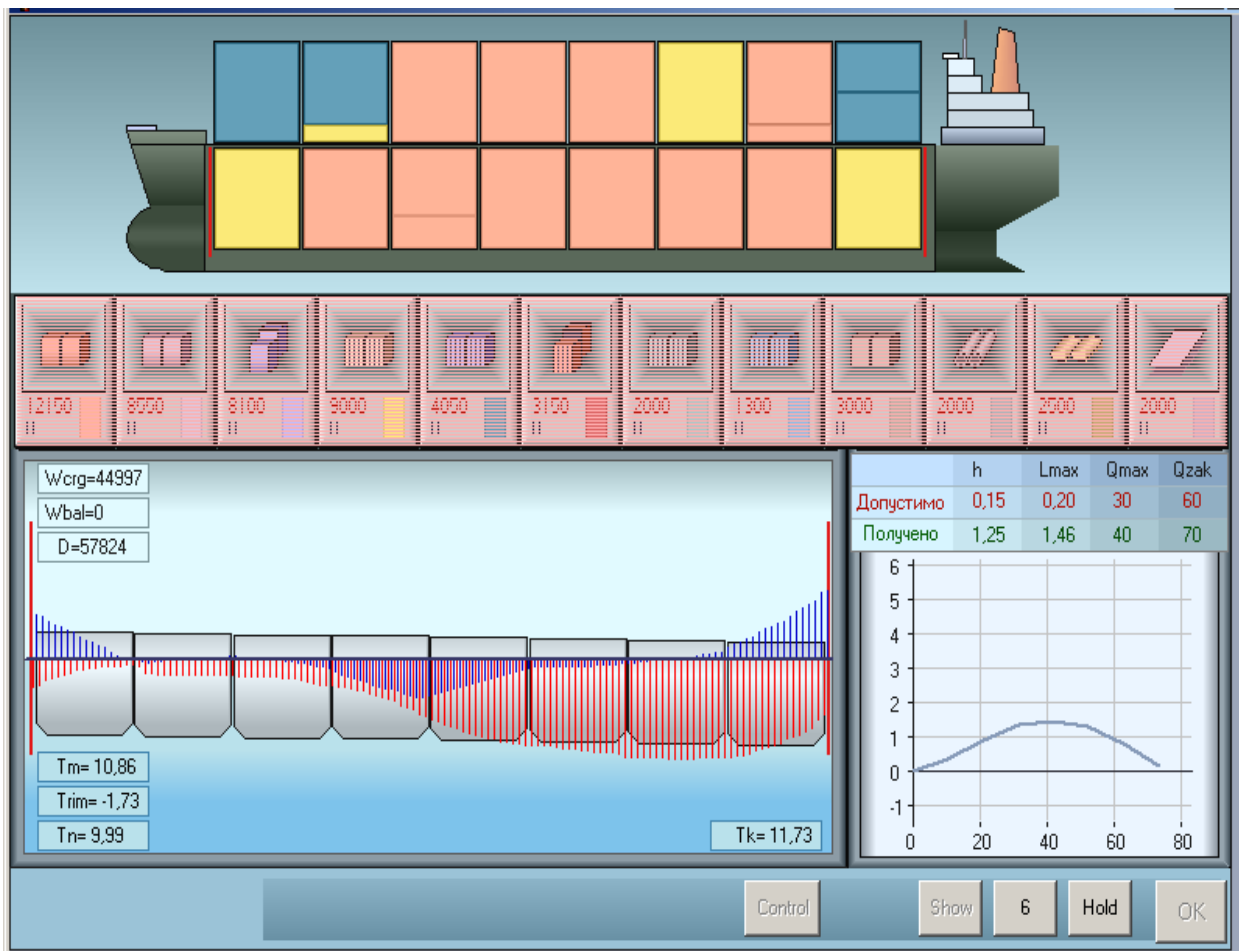


Рисунок 1 – Размещение контейнеров загрузки и характеристики мореходной безопасности

Компьютерная программа содержит модуль оценки параметров посадки, устойчивости и общей продольной прочности, которые представлены на нижней половине рис. 1. Как следует из рисунка, характеристики мореходной безопасности находятся в допустимых пределах.

### Выводы

1. Рассмотрен способ формирования плана загрузки контейнеровоза, предусматривающий размещение контейнеров по грузовым помещениям, при котором выполняются требования по мореходной безопасности судна.

2. Получены аналитические выражения реализации данного способа, с помощью которых определяются граничные значения допустимых интервалов статических моментов, обеспечивающих мореходную безопасность судна, а также распределение веса партий загрузки, обеспечивающего необходимый дифферент судна и его общую продольную прочность.

3. Приведен пример загрузки судна с использованием предлагаемого способа, и с помощью компьютерной программы подтверждена его корректность.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xia Jinzhu, Jensen Jorgen, Pedersen Preben Terndrup. A dynamic model for roll motion of ships due to flooding. *Schiffstechnik*, 1999. 46, № 4. P. 208–216.
2. Сизов В. Г. Теория корабля. Одесса : Феникс, 2003. 282 с.
3. Васьков Ю. Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов. *Судовождение*. 2003. № 6. С. 40–45.
4. Чепок А. О. Разработка процедуры отображения укладки генерального груза в трюмах судна. *Судовождение : сб. научн. трудов*. Одесса : ИздатИнформ, 2011. Вып. 20. С. 243–246.
5. Simonovich Milivoje, Sizov Victor G, Vorobjov Yuri L. The correlation of ship hull form and her static stability diagram. *21 Jugosloven. kongr. teor. i primenjene meh.* 1995. P. 167–173.
6. Kulesh Victor A. Computer investigation of construction reliability. Proc. 6<sup>th</sup> Int. Offshore and Polar Eng. Conf., Los Angeles, Calif., May 26-31, 1996. Vol. 4. Golden (Golo) P. 395–401.
7. Wan Zheng, He Fu. Estimation of ultimate strength of ship`s hull girders. *Ship Mech.* 2003. 7, № 3. P. 58–67.
8. 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; опубл. 8.5.96; НКИ В7А.
9. Власенко Е. А. Допустимая загрузка контейнеровоза. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2018. VI (22), Issue: 186. С. 87–96.
10. Miller Lutz. Advanced calculation techniques for ship structural design. *Germ. Maritime Ind. J.* 1992. 8, Spec. Issue. P. 37–40.

## REFERENCES

1. Xia Jinzhu, Jensen Jorgen, Pedersen Preben Terndrup (1999). A dynamic model for roll motion of ships due to flooding. *Schiffstechnik*, 46, № 4, 208–216.
2. Sizov V. G. (2003). Theory of ship. Odessa : Phenix.
3. Vaskov Yu. Yu. (2003). Some questions of optimization of cargo operations of loading vessels. *Sudovozhdenie*, № 6, 40–45.
4. Chepok A. O. (2011). Development of procedures of reflection of piling of general load in the holds of ship. *Sb. nauchn. trudov, Vyp. 26*. Odessa : IzdatInform. 243–246.
5. Simonovich Milivoje, Sizov Victor G, Vorobjov Yuri L. (1995). The correlation of ship hull form and her static stability diagram. *21 Jugosloven. kongr. teor. i primenjene meh.*, 167–173.
6. Kulesh Victor A. (1996). Computer investigation of construction reliability. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Offshore and Polar Eng. Conf.* (Los Angeles, Calif., May 26-31, 1996). Golden (Golo). Vol. 4, 395–401.
7. Wan Zheng, He Fu. (2003). Estimation of ultimate strength of ship`s hull girders. *Ship Mech.* 7, № 3, 58–67.
8. RO-RO ship/ferry with buoyancy tanks to prevent capsizing/ Request 2264665 Great Britain МКИ6 В 63 В 43/12 / Shatawy Ahmed Ahmed El. № 9422061.3; Zayavl. 2.11.94; Opubl. 8.5.96; NKI V7A.
9. Vlasenko E. A. (2018). Possible loading of containership / Vlasenko E.A.// *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VI(22), Issue: 186, 2018.- P. 87 - 96.
10. Miller Lutz. Advanced calculation techniques for ship structural design./ Miller Lutz.// *Germ. Maritime Ind. J.* - 1992. - 8, Spec. Issue. - P. 37 - 40.



**Цимбал М. М. ФОРМУВАННЯ ПЛАНУ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗА**

*У роботі розглянуто питання розміщення контейнерів при завантаженні судна з урахуванням послідовності портів вивантаження для забезпечення доступу до необхідних партій, а також та обставина, що проміжні стани завантаження судна при переході між портами повинні відповідати вимогам його морехідної безпеки, а сили інерції, що виникають, знаходяться в допустимих межах.*

*Тому запропонований спосіб формування плану завантаження контейнеровоза, що передбачає розміщення контейнерів по вантажних приміщеннях, при якому виконуються вимоги з посадки, остійності і загальній поздовжній міцності судна.*

*Наведено вирази для розрахунку приростів статичних моментів щодо осей судна, які виникають у результаті прийому партій контейнерів завантаження судна. Зазначено, що в результаті завантаження контейнерів диферент судна повинен знаходитися в межах від 0 до -2,0 м. З вказаного інтервалу вибирається диферент, якому відповідає розміщення контейнерів, що задовольняє вимогам подовжньої міцності. Тому для завантаження судна запропоновані процедури визначення граничних значень моментів, які забезпечують диферент судна від 0 до -2,0 м. Також одержано аналітичні вирази, за допомогою яких визначається розподіл ваги партій завантаження, який забезпечує необхідний диферент судна і його загальну поздовжню міцність. Для цього одержано формули розрахунку середньої ваги частини партії контейнерів, яка знаходиться в кожному з вантажних приміщень, вибраних для завантаження контейнерів партії, а також запропоновано вирази для визначення ваги вантажу в кожному вантажному приміщенні залежно від його розташування по довжині і висоті судна.*

*Розглянуто процедуру сумісного урахування розміщення контейнерів різних партій завантаження судна на параметри посадки, остійності і загальної поздовжньої міцності судна. Для цього проводиться визначення складової необхідного статичного моменту залежно від частки ваги партії в загальній вазі завантаження судна.*

*Для підтвердження коректності запропонованого способу за допомогою комп'ютерної програми було розраховане завантаження судна «Скай Джеймені», яке може приймати контейнери у вісім трюмів і на їх кришки. Судно характеризується максимальним середнім осіданням 13,0 м і максимальною водотоннажністю 68318 т. За допомогою розробленої програми було сформоване завантаження судна трьома партіями контейнерів, причому перша партія контейнерів вагою 28800 т і числом 1920 контейнерів розміщена в десяти вантажних приміщеннях, друга партія, що складається з 600 контейнерів вагою 9000 т, розташована в чотирьох приміщеннях, а третя партія вагою 7200 т і чисельністю 552 контейнери – в трьох приміщеннях. Розглянуте завантаження задовольняє вимоги морехідної безпеки.*

**Ключові слова:** морехідна безпека суден, завантаження контейнеровозів, планування розміщення контейнерів партії, імітаційне моделювання завантаження судна.

**Tsymbal M. M. THE FORMATION OF THE CONTAINER VESSEL LOADING PLAN**

*The paper considers the location of containers when loading the ship taking into account the sequence of ports of unloading to provide access to the required consignments, as well as the fact that the intermediate states of loading the ship when passing between ports must meet the requirements of its maritime safety. Therefore, a method of forming a plan for loading a container ship, which provides for the placement of containers in the cargo space, which meets the requirements for landing, stability and overall longitudinal strength of the vessel. Expressions have been given to calculate the increments of static moments relative to the axes of the vessel, which arise as a result of receiving batches of containers for loading the vessel. It is noted that as a result of containers loading, the trim of the vessel should be in the range from 0 to -2,0 m. From the specified interval the trim which corresponds to placement of containers satisfying requirements of longitudinal durability has been chosen. Therefore, for loading the vessel, procedures for determining the limit values of the moments that provide the ship's trim from 0 to -2.0 m have been considered. To do this, the formulas for calculating the average weight of the batch of containers located in each of the cargo spaces designated for loading batch containers have been obtained, and expressions for determining the weight of cargo in each cargo space depending on its location along the length and height of the vessel. The procedure of joint consideration of the containers placement of different batches of loading the vessel on the parameters of landing, stability and overall longitudinal strength of the vessel has been considered. To do this, the component of the required static moment has been determined depending on the share of the weight of the party in the total weight of the vessel. To confirm the correctness of the suggested method with the help of a computer program, it was calculated to load the ship "Sky Jameni", which can accept containers in eight holds and on their hatches. The vessel is characterized by a maximum average draught of 13.0 m and a maximum displacement of 68,318 tons. The loading plan of the above-mentioned vessel has been formed with*

*the help of the developed program by three container parties. The first container party includes 1900 containers weighing 28800 tons and it has been loaded in 10 cargo holds; the second one consists of 600 containers weighing 9000 tons, has been located in four holds, and the third one weighing 7200 tons and consists of 552 containers has been located in three holds. The considered loading satisfies the requirements to maintain the seaworthiness of the container carrier.*

**Keywords:** *maritime safety of vessels, loading of container vessels, planning of container parties placement, simulation modeling of vessel's loading.*

© Цимбал М.М.

Статтю прийнято  
до редакції 16.08.20