

УДК 656.614.3.073.003

DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.144-151

**CALCULATION OF VOYAGE CARGO PLAN OF CONTAINERSHIP****РАСЧЕТ РЕЙСОВОГО ГРУЗОВОГО ПЛАНА КОНТЕЙНЕРОВОЗА****M. N. Tsimbal, PhD student,****М. Н. Цымбал, аспирант,***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

*The questions of drafting of cargo plan of containership on a voyage are considered in work, during of which the reception and unloading of parties of containers is produced in a few ports.*

*Forming of loading of the ship «Sky Gemini», which can adopt containers in eight holds and on their lids is considered. Placing of containers can be produced in 16 cargo apartments, thus in each of cargo apartment it is possible to place 192 twenty foot container.*

*The voyage of ship with arrival in five ports is considered in the article, thus in the first port the complete loading of ship is produced 3072 containers, gross weight of which makes 45000 m. A load consists of three parties which are addressed accordingly in fifth, fourth and second ports. In the second port the second party and ship unloads with two remaining parties follows in the third port, where fourth party of containers for fourth port is loaded. Unloading of the third and fourth parties is produced in fourth port, and a ship with the unique first party accomplishes transition in the last fifth port.*

*As a result of every loading of parties of containers list of ship must be in limits from 0 to -2,0 m. List, which placing of containers, suiting longitudinal durability, corresponds to, gets out from the indicated interval. Therefore, for every party of loading it is necessary to find the scope values of static moments which provide list of ship accordingly 0 and -2,0 m.*

*The results of imitation design of four loads of ship are represented. As the conducted imitation design showed, the computer program formed the loads of ship, the feature of which there is their admission on the requirements of his landing, stability and general longitudinal durability. Minimization of forces of inertia at tossing of ship during transition is attained by the order of piling of containers in every tier: containers with greater mass are disposed nearer to the diametric plane of ship.*

*In the imitation program is present module of estimation of parameters of landing, stability and longitudinal durability of the ship «Sky Gemini», using his hydrostatical tables and information about durability. Taking into account distributing of weight of containers of parties of loading, the criteria of nautical safety of ship, which are represented as the diagram of static stability, shire forces and bending moments, settle accounts by the program.*

**Keywords:** nautical safety, loading of containership, voyage plan of loading, imitation computer design.

**РЕФЕРАТ**

У роботі розглянуто питання складання вантажного плану контейнеровоза на рейс, в перебігу якого в декількох портах проводиться прийом і вивантаження партій контейнерів.

Розглянуто формування завантаження судна «Скай Джемені», яке може приймати контейнери у вісім трюмів і на їх кришки. Розміщення контейнерів може проводитися в 16 вантажних приміщень, причому в кожному з вантажних приміщень можна розмістити 192 двадцяти футових контейнера.

У статті розглянуто рейс судна із заходом в п'ять портів, причому в першому порту проводиться повне завантаження судна 3072 двадцяти футовими контейнерами, загальна

вага яких складає 45000 т. Вантаж складається з трьох партій, які адресовані відповідно в п'ятий, четвертий і другий порти. У другому порту вивантажується друга партія і судно з двома партіями, що залишилися, слідує в третій порт, де завантажується четверта партія контейнерів для четвертого порту. У четвертому порту проводиться вивантаження третьої і четвертої партій, і судно з єдиною першою партією виконує перехід в останній п'ятий порт.

В результаті кожного завантаження партій 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 кожної партії вантажу необхідно знайти граничні значення статичних моментів, які забезпечують диферент судна відповідно 0 і  $-2,0$  м.

У всіх чотирьох завантаженнях загальною є перша партія контейнерів, тому планування її розміщення по вантажних приміщеннях судна проводиться в першу чергу, потім при першому завантаженні розміщуються друга і третя партії.

Представлено результати імітаційного моделювання чотирьох завантажень судна. Як показало проведене імітаційне моделювання, комп'ютерною програмою були сформовані завантаження судна, особливістю яких є їх допустимість по вимогах його посадки, остійності і загальної подовжньої міцності. Мінімізація сил інерції при качанні судна під час переходу досягнута порядком укладання контейнерів в кожному ярусі: контейнери з більшою масою розташовуються ближче до діаметральної площини судна.

У імітаційній програмі є модуль оцінки параметрів посадки, остійності і подовжньої міцності судна «Скай Джемні», використовуючи його гідростатичні таблиці і інформацію про міцність. Враховуючи розподіл ваги контейнерів партій завантаження, програмою розраховуються критерії морехідної безпеки судна, які відображаються у вигляді діаграми статичної остійності, епюр перерізуючих сил і згинаючих моментів.

**Ключові слова:** морехідна безпека, завантаження контейнеровоза, рейсовий план завантаження, імітаційне комп'ютерне моделювання.

### **Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами**

В случае планирования загрузки контейнеровоза с последующей разгрузкой в нескольких портах при размещении груза необходимо учитывать ротацию портов выгрузки для обеспечения свободного доступа к необходимым партиям груза. Также следует учитывать, что промежуточные состояния загрузки судна на переходах между смежными портами разгрузки должны отвечать требованиям мореходности судна и возникающие силы инерции не превосходят допустимых пределов.

Вопросы обеспечения мореходной безопасности судов являются актуальными и им посвящены многие работы современных исследователей.

### **Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы**

В работе [1] с помощью методов корреляции произведено исследование зависимости между формой корпуса судна и его диаграммой статической остойчивости, а в работе [2] произведено подробное рассмотрение вопросов обеспечения мореходной безопасности судов.

Особенности загрузки судна генеральными грузами и выбор ее оптимального варианта рассмотрены в работе [3], а разработка модели бортовой качки накатных судов при затоплении части помещений предложена в работе [4].

Описание численных методов оценки вибрации и прочности судна приведено в работе [5], причем указывается, что наиболее эффективным является метод конечных элементов. Методы расчетов запаса надежности судовых конструкций, как указывается в статье [6], были разработаны на базе статистического материала, который был получен

многолетним опытом эксплуатации судов в арктических районах, а работа [7] посвящена общим принципам оптимизации грузового плана навалочных судов.

Методом обеспечения плавучести паромов и аварийного судна типа RO-RO, предусматривающий использование закрытых емкостей, рассмотрен в патенте [8], а способ расчета диаграммы нагрузок и анализа последовательного разрушения при заданных начальных деформациях и остаточных напряжениях предлагается в работе [9].

### Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является способ расчета рейсового грузового плана контейнеровоза при проведении грузовых операций в нескольких портах.

### Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работе [10] рассмотрены вопросы составления грузового плана контейнеровоза на рейс, в течении которого в нескольких портах производится прием и выгрузка партий контейнеров.

В данной публикации, используя результаты упомянутой работы, рассмотрим формирование загрузки судна «Скай Джемени», которое может принимать контейнеры в восемь трюмов и на их крышки. Размещение контейнеров может производиться в 16 грузовых помещений (1÷8 трюма и 9÷16 крышки трюмов). В каждом из грузовых помещений можно разместить 192 двадцатифутовых контейнера (четыре бейта по шесть ярусов, каждый из которых содержит восемь контейнеров). Судно характеризуется максимальной средней осадкой 13,0 м и максимальным водоизмещением 68318 т.

Планируется рейс судна с заходом в пять портов, причем в первом порту производится полная загрузка судна 3072 двадцати футовыми контейнерами, общий вес которых составляет 45000 т. Груз состоит из трех партий  $P_1^5$ ,  $P_1^4$  и  $P_1^2$ , адресованных соответственно в пятый, четвертый и второй порты. Во втором порту выгружается партия  $P_1^2$  и судно с двумя партиями  $P_1^5$ ,  $P_1^4$  следует в третий порт, где загружается партия контейнеров  $P_3^4$ . В четвертом порту производится выгрузка партий  $P_1^4$  и  $P_3^4$ , и судно с единственной партией  $P_1^5$  совершает переход в последний пятый порт.

Характеристики перевозимых партий контейнеров приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики партий контейнеров

| Партия     | $P_1^5$ | $P_1^4$ | $P_1^2$ | $P_3^4$ |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| Н контейн. | 1920    | 600     | 552     | 288     |
| Вес партии | 28800   | 9000    | 7200    | 4050    |

Рейс характеризуется четырьмя загрузками судна перед выходом из каждого из портов. Характеристика загрузок судна приведена в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики загрузок судна

| Загрузки     | 1                     | 2              | 3                     | 4       |
|--------------|-----------------------|----------------|-----------------------|---------|
| Партии       | $P_1^5, P_1^4, P_1^2$ | $P_1^5, P_1^4$ | $P_1^5, P_1^4, P_3^4$ | $P_1^5$ |
| Н контейн.   | 3072                  | 2520           | 2808                  | 1920    |
| Вес загрузки | 45000                 | 37800          | 41850                 | 28800   |

В результате каждой загрузки партий контейнеров дифферент судна  $d$  должен находиться в пределах от 0 до -2,0 м. Из указанного интервала выбирается дифферент,

которому соответствует размещение контейнеров, удовлетворяющее требованиям продольной прочности. Поэтому для каждой партии груза необходимо найти граничные значения статического момента  $M_{X(0)}$  и  $M_{X(-2)}$ , которые обеспечивают дифферент судна соответственно 0 и -2,0 м. Для этого воспользуемся известной зависимостью [1]:

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

где  $x_c$  - абсцисса центра величины, соответствующая водоизмещению  $D$ ;

$\bar{M}$  - момент, дифференцирующий судно на один сантиметр.

В рассматриваемом случае загрузки судна можно формировать без приема балласта, поэтому  $\Delta M_X$  является постоянной величиной, которая для данного судна  $\Delta M_X = -99227$ .

Поэтому для  $i$ -й загрузки:

$$M_{Xc(0)}^{(i)} = D_i x_{ci} - \Delta M_X - M_{Xc(0)}^{(i-1)} ;$$

$$M_{Xc(-2)}^{(i)} = D_i x_{ci} - 200\bar{M}_i - \Delta M_X - M_{Xc(-2)}^{(i-1)}.$$

Аналогично определяется граничное значение статического момента  $M_{Zc^*}$ , создаваемого партиями контейнеров загрузки, при котором метацентрическая высота равна минимальному значению 0,15 м. В работе показано [1]:

$$M_{Zc^*} = D_i (Z_{mi} - 0,15) - \Delta M_Z.$$

В данном случае  $\Delta M_Z$  является постоянной величиной и для рассматриваемого судна  $\Delta M_Z = 122165$ . При расчете водоизмещения помимо веса груза учитывается вес судна порожнем, вес запасов и топлива, что в сумме составляет 14360 т.

В табл. 3 приведены результаты расчетов загрузок, в которых, исходя из характеристик партий контейнеров и гидростатических таблиц, получены значения граничных значений статических моментов  $M_{Xc(0)}$ ,  $M_{Xc(-2)}$  и  $M_{Zc^*}$  по ранее полученным выражениям. Расчет производился с помощью компьютерной программы имитационного моделирования, которая содержит информацию о гидростатике судна «Скай Джемени».

Во всех четырех загрузках общей является партия контейнеров  $P_1^5$ , поэтому планирование ее размещения по грузовым помещениям судна производится в первую очередь, затем при первой загрузке размещаются партии  $P_1^4$  и  $P_1^2$ .

Таблица 3. Результаты расчетов загрузок

| Загрузка     | 1      | 2      | 3      | 4      |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Вес          | 45000  | 37800  | 41850  | 28800  |
| D            | 59360  | 52160  | 56210  | 43160  |
| $x_c$        | 4,66   | 5,46   | 5,02   | 6,30   |
| $\bar{M}$    | 740,7  | 705,0  | 726,5  | 665,9  |
| $M_{Xc(0)}$  | -5556  | 12886  | -2620  | 32448  |
| $M_{Xc(-2)}$ | -8396  | 5066   | -6920  | 28988  |
| $Z_m$        | 12,80  | 12,93  | 12,83  | 13,53  |
| $M_{Zc^*}$   | 628739 | 544440 | 590578 | 455316 |

В данной публикации представлены результаты имитационного моделирования четырех загрузок судна. Как показало проведенное имитационное компьютерное

моделирование, компьютерной программой были сформированы загрузки судна, особенностью которых является их допустимость по требованиям его посадки, устойчивости и общей продольной прочности. Минимизация сил инерции при качке судна во время перехода достигнута порядком укладки контейнеров в каждом ярусе: контейнеры с большей массой располагаются ближе к диаметральной плоскости судна.

В имитационной программе имеется модуль оценки параметров посадки, устойчивости и продольной прочности судна «Скай Джемени», используя его гидростатические таблицы и информацию о прочности. Учитывая распределение веса контейнеров партий загрузки, программой рассчитываются критерии мореходной безопасности судна, которые отображаются в виде диаграммы статической устойчивости, эпюр перерезывающих сил и изгибающих моментов, как показано на рис. 1 для первой загрузки судна. Размещение партий по грузовым помещениям судна показано на рис. 1, причем партия  $P_1^2$  окрашена наиболее светлым цветом, партия  $P_1^5$  имеет более темный цвет, а партия  $P_1^4$  размещена на палубе и имеет наиболее темный цвет.

Во втором порту производится выгрузка партии контейнеров  $P_1^2$ , поэтому вторая загрузка судна определяется партиями  $P_1^4$  и  $P_1^5$ , распределение которых по грузовым помещениям судна и параметры посадки, устойчивости и общей продольной прочности судна показаны на рис. 2.

Как следует из приведенного рисунка, параметры мореходной безопасности второй загрузки судна находятся в допустимых пределах.

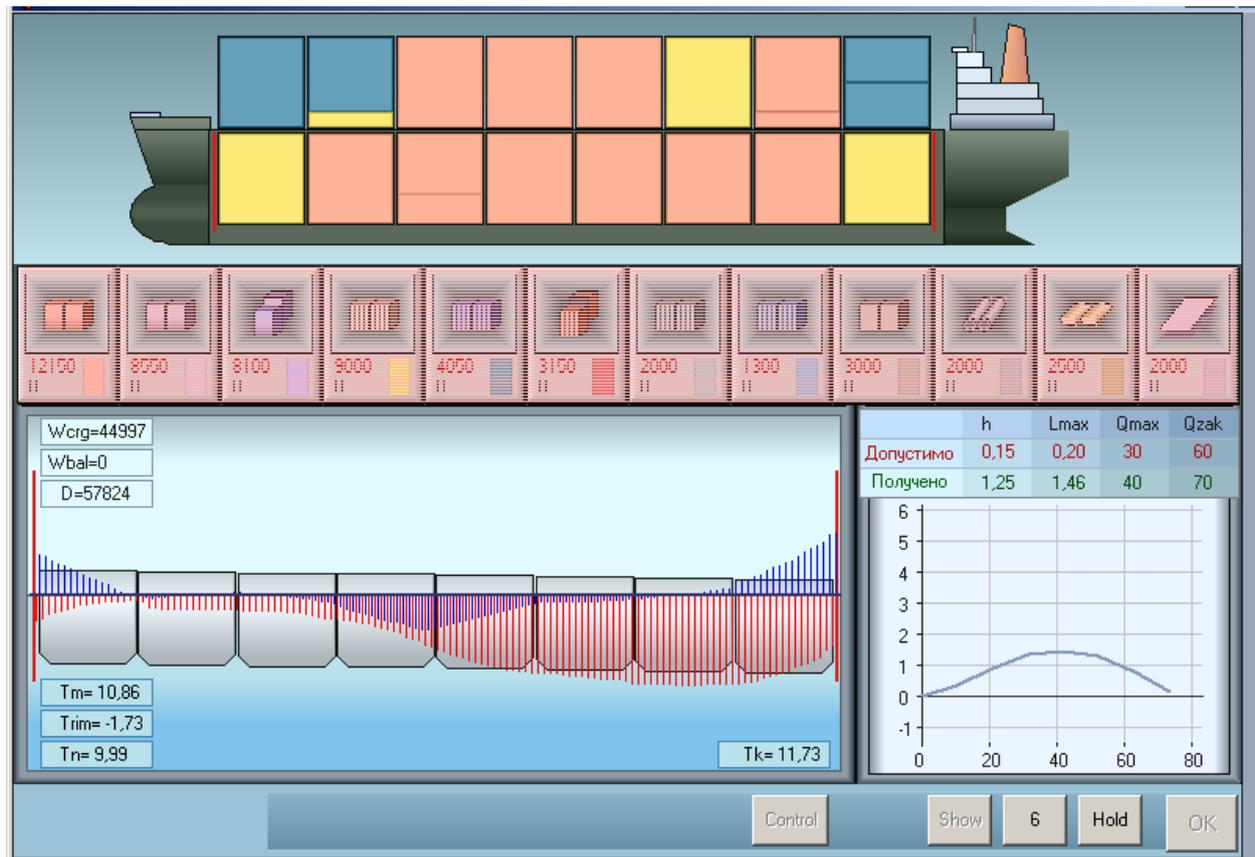


Рис. 1. Характеристики мореходной безопасности первой загрузки

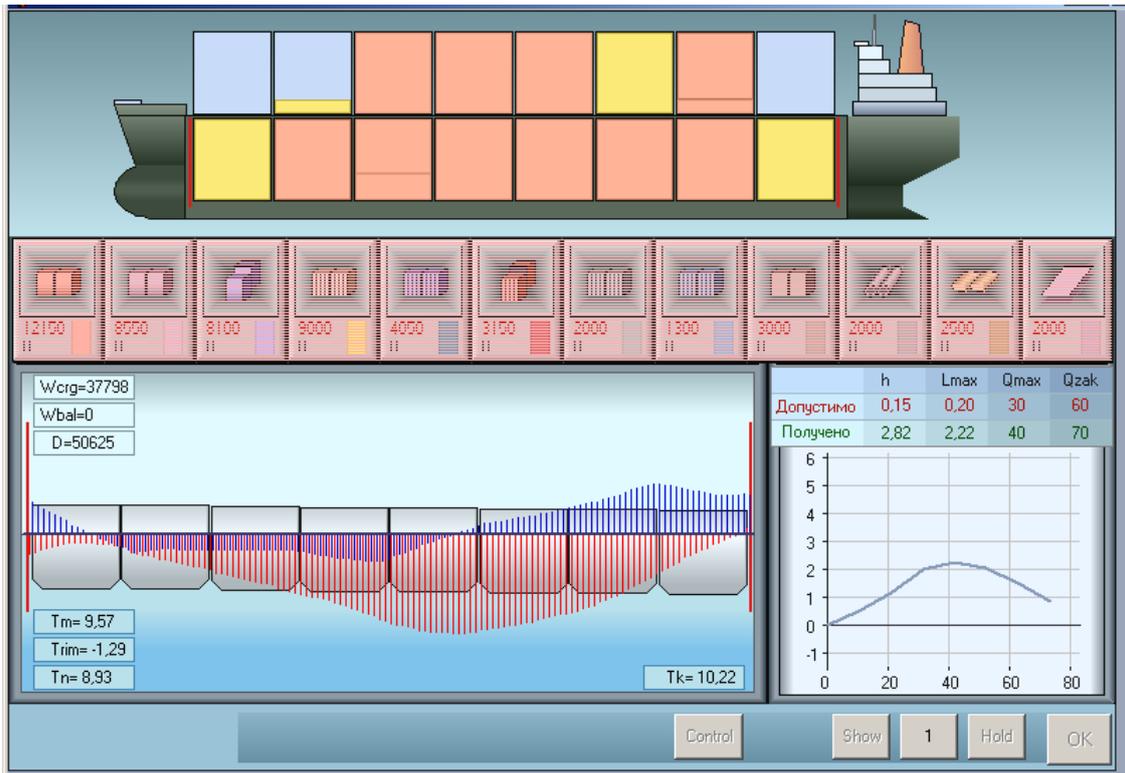


Рис. 2. Характеристики мореходной безопасности второй загрузки

Третья загрузка судна является дополнением второй загрузки четвертой партией контейнеров  $P_3^4$ .

На рис. 3 показана схема размещения третьей загрузки судна, содержащей две партии контейнеров  $P_1^4$  и  $P_3^4$ , адресованные в четвертый порт, и партию  $P_1^5$  для пятого порта. На этом же рис. 3 показаны параметры посадки, остойчивости и общей продольной прочности судна при его третьей загрузке.

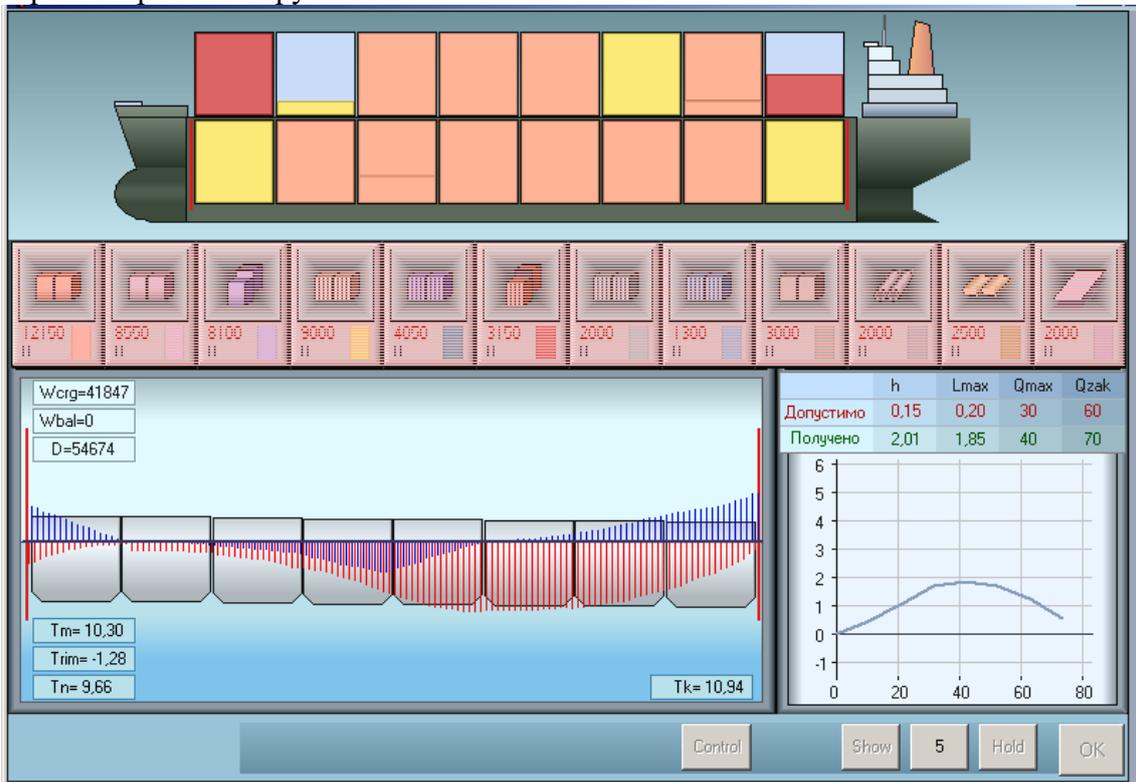


Рис. 3. Характеристики мореходной безопасности третьей загрузки

Из рис. 3 следует, что параметры посадки, устойчивости и общей продольной прочности судна при его третьей загрузке находятся в допустимых пределах. Так, начальная метацентрическая высота равна 2,01 метра. Критерии диаграммы статической устойчивости удовлетворяют требованиям мореходной безопасности: максимальное плечо диаграммы составляет 1,85 метра, угол максимального плеча равен  $40^\circ$ , а угол заката -  $70^\circ$ . Дифферент судна равен -1,28 метра, а значения перерезывающих сил и изгибающих моментов не превосходят их предельно-допустимых значений. В четвертом порту выгружаются партии контейнеров  $P_1^4$  и  $P_3^4$ , поэтому четвертую загрузку составляет только партия  $P_1^5$  для пятого порта.

Контейнеры четвертой загрузки размещены в шести трюмах и на крышках четырех трюмов и их схема расположения в грузовых помещениях судна представлена на рис. 4. Так как четвертая загрузка входит во все три остальных загрузки, то размещение ее контейнеров необходимо планировать в первую очередь. Из рис. 3 видно, что контейнеры расположены симметрично относительно мидель - шпангоута судна, чем обеспечивается удобство планирования размещения контейнеров других загрузок.

Характеристики мореходной безопасности четвертой загрузки судна представлены на рис. 4. Дифферент судна равен -0,05 метра, т. е. судно находится почти на ровном киле со средней осадкой 7,93 метра. Критерии устойчивости удовлетворяют требованиям мореходной безопасности, а перерезывающие силы и изгибающие моменты не превосходят предельно-допустимых значений.

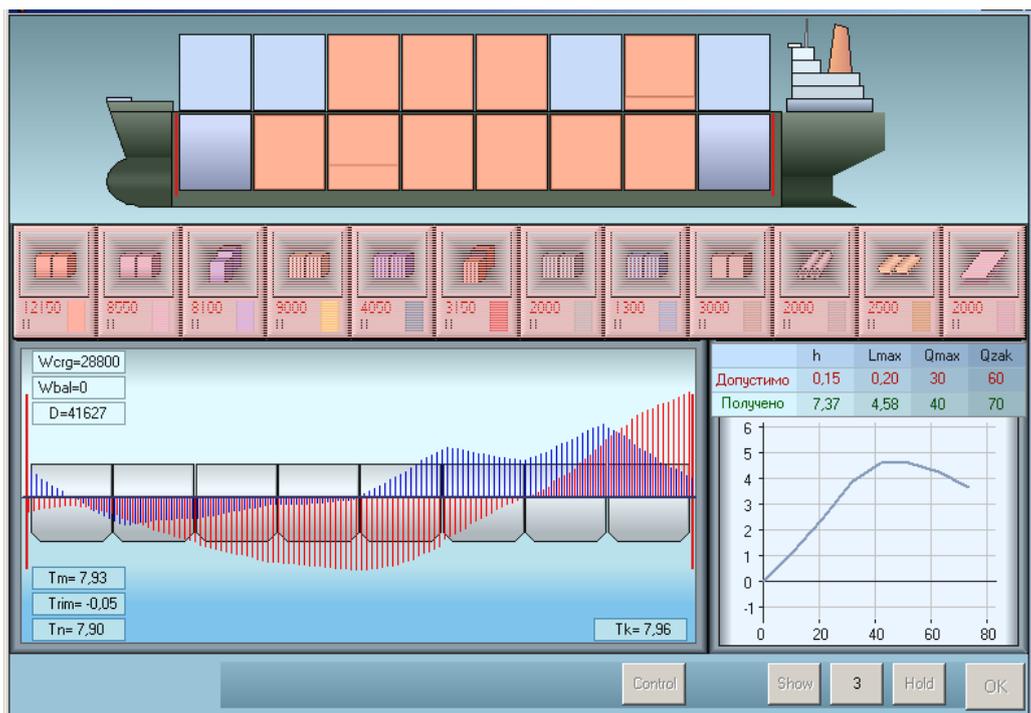


Рис. 4. Характеристики мореходной безопасности четвертой загрузки

Таким образом, размещение контейнеров всех четырех загрузок обеспечило доступность к партиям при выгрузке, допустимые значения параметров посадки, устойчивости и общей продольной прочности судна. Следовательно, метод формирования загрузки судна в случае приема и сдачи партий контейнеров в нескольких портах и используемые в нем аналитические выражения и процедуры являются корректными.

Сводная информация о мореходной безопасности всех загрузок судна во время его рейса приведена в табл. 4, в которой указаны значения начальной метацентрической высоты, критериев диаграммы статической устойчивости и параметров посадки судна, а также их допустимые значения.

Таблиця 4. Параметри мореходної безпеки загрузок судна

| Загрузка       | 1     | 2     | 3     | 4     | Допуст.   |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Вес            | 45000 | 37800 | 41850 | 28800 |           |
| D              | 59360 | 52160 | 56210 | 43160 | 68318     |
| h              | 1,25  | 2,82  | 2,01  | 7,37  | 0,15      |
| $L_{max}$      | 1,46  | 2,22  | 1,85  | 4,58  | 0,20      |
| $\theta_{max}$ | 40    | 40    | 40    | 40    | 30        |
| $\theta_{zak}$ | 70    | 70    | 70    | 70    | 60        |
| $T_n$          | 9,99  | 8,93  | 9,66  | 7,90  | -         |
| $T_k$          | 11,73 | 10,22 | 10,94 | 7,96  | -         |
| $T_m$          | 10,86 | 9,57  | 10,30 | 7,93  | 13,00     |
| d              | -1,73 | -1,29 | -0,12 | -0,05 | 0 ÷ -2,00 |

### Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Рассмотрен способ расчета рейсового грузового плана контейнеровоза при проведении грузовых операций в нескольких портах. В дальнейшем целесообразно исследование операции формирования тензора загрузки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Сизов В.Г. Теория корабля. – Одесса: Феникс, 2003. – 282 с.
3. 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.
4. Xia Jinzhu. A dynamic model for roll motion of ships due to flooding / Xia Jinzhu, Jensen Jorgen, Pedersen Preben Terndrup // Schiffstechnik. – 1999. – 46, № 4. –P. 208-216.
5. Miller Lutz. Advanced calculation techniques for ship structural design / Miller Lutz.// Germ. Maritime Ind. J. - 1992. - 8, Spec. Issue. - P. 37 - 40.
6. Wan Zheng. Estimation of ultimate strength of ship`s hull girders / Wan Zheng, He Fu. // Ship Mech. - 2003. - 7, № 3. - P. 58-67.
7. Васьков Ю.Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов / Васьков Ю.Ю. // Судовождение. – № 6. – 2003. – С. 40 – 45.
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. Kulesh Victor A. Computer investigation of construction reliability / Kulesh Victor A. // Proc. 6<sup>th</sup> Int. Offshore and Polar Eng. Conf., Los Angeles, Calif., May 26-31, 1996. Vol. 4. – Golden (Golo), 1996. – p. 395-401.
10. Цымбал М.Н. Планирование загрузки контейнеровоза в случае проведения грузовых операций в нескольких портах/ Цымбал М.Н. //Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VIII(27), Issue: 224, 2020.- С. 71 - 74.