

УДК 656.614.3

*Болгов Олексій Сергійович, ш.д.п.,
(аспірант Державного університету інфраструктури та технологій);
Тихонов Ілля Валентинович, д.т.н., с.н.с, к.д.п.,
(доцент кафедри Судноводіння та управління судном
Державного університету інфраструктури та технологій)*

МЕТОД АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ НАВАЛЮВАЛЬНОГО СУДНА З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ ПРОВЕДЕННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ ЗБЕРЕЖЕННЯ МОРЕХІДНОГО СТАНУ СУДНА

У статті наведено метод аналітичного опису вантажних операцій навалювального судна з метою формування оптимальної стратегії проведення вантажних операцій по критерію безперервного збереження морехідного стану судна.

***Ключові слова:** навалювальне судно, вантажні операції, аналітичний опис, план вантажних операцій, морехідний стан судна, оптимізація вантажних операцій.*

Вступ. Порядок проведення вантажних операцій в портах, значною мірою, визначає морехідну безпеку навалювальних суден (балкерів). До вантажних операцій балкерів висувуються підвищені вимоги в частині забезпечення загальної поздовжньої та місцевої міцності. Наявні суднові інструменти не дозволяють оперативно здійснювати планування вантажних операцій і контроль стану судна під час їх проведення. Виникає необхідність у розробці нових автоматизованих систем планування і контролю вантажних операцій балкерів.

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень. Існуючі програми для розрахунку вантажних операцій навалювальних суден, як правило, відображають заданий статичний стан судна і не виконують автоматичний розподіл вантажу і баласту залежно від числа та потужності вантажних засобів порту. Вантажний помічник капітана змушений витратити чимало часу на підготовку плану завантаження (вивантаження) судна. Нерідко вже заздалегідь складений і затверджений капітаном план, доводиться оперативно змінювати через зміну умов проведення вантажних операцій в порту. Таким чином, при високій інтенсивності вантажних операцій на сучасних балкерних терміналах та нестачі часу на підготовку і перевірку нового плану, виникає небезпека перевантаження окремих трюмів, що в свою чергу може бути причиною порушення місцевої та поздовжньої міцності корпусу і погіршення морехідних якостей судна.

Більшість сучасних суден також не володіють автоматизованими засобами контролю навантажень на корпус, які були б інтегрованими з вантажною програмою судна.

Рішенням даної проблеми має стати створення комп'ютерної системи, яка дозволить автоматизувати створення плану завантаження (вивантаження) навалювального судна, а також оперативно вносити зміни в нього при зміні зовнішніх умов проведення вантажних операцій.

В основу такої системи повинен бути покладений метод (стратегія) оптимального розподілу певної кількості навалювального вантажу з урахуванням наявних портових вантажних засобів і конструктивних особливостей самого судна, з постійним дотриманням параметрів його посадки, остійності та загальної поздовжньої міцності.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-19

Створення такого методу має базуватися на теоріях системного аналізу і дослідження операцій, а також на інструментах математичного моделювання.

Для вирішення поставленого завдання необхідно, в першу чергу, провести формалізацію вантажних операцій в термінах математичної моделі судна та виявити функціональний взаємозв'язок між параметрами, що впливають на морехідність судна.

Очевидно, розробка згаданого методу є актуальним і перспективним напрямом наукових досліджень, спрямованих на забезпечення безпеки балкерів.

Питання морехідної безпеки навалювальних суден розглянуті в роботах [1, 2, 3].

Вимоги до планування та проведення вантажних операцій балкерів висвітлені в конвенціях прийнятих Міжнародною морською організацією (ІМО) [4, 5, 6, 7], а також в роботах [8, 9, 10].

Принципи теорії системного аналізу і теорії дослідження операцій викладені в роботах [11, 12, 13].

Застосування теорій системного аналізу та дослідження операцій до вантажних операцій навалювальних і універсальних суден було запропоновано в роботах Гайченя О.В., Соколова М.Ю., Клименко Е.Н. [14, 15, 16].

У роботах Цимбала М.М. і Васькова Ю.Ю. [17, 18] запропоновано математичні моделі оптимізації процесів завантаження балкерів, а також рішення задачі за допомогою методів лінійного програмування.

Мета дослідження. Формальний опис процесу вантажних операцій навалювального судна та постановка задачі щодо їх оптимізації за фактором безперервного збереження морехідного стану судна. Вибір оптимальної стратегії проведення вантажних операцій, як основи побудови плану завантаження судна.

Матеріали і методи дослідження. У загальному вигляді метою дослідження є розробка способу автоматичного планування вантажних операцій (створення плану завантаження-вивантаження) навалювальних суден, який забезпечить безперервне збереження морехідного стану судна в будь-який момент вантажних операцій. Іншими словами, процеси зміни кількості вантажу і баласту під час вантажних операцій повинні забезпечити допустимі значення посадки судна, його остійності, загальної поздовжньої та місцевої міцності.

Якщо є непорожня множина серед альтернативних реалізацій проведення вантажних операцій, які відповідають вимогам цієї мети, то виникає можливість вибору оптимальної стратегії проведення вантажних операцій, що дає найкращі результати по деякому заданому критерію оптимальності. Тому головним завданням дослідження є знаходження способу вибору стратегії проведення вантажних операцій, що забезпечує необхідний екстремум критерію оптимальності [15, 18].

Для побудови математичної моделі оптимізації вантажного процесу навалювального судна необхідно провести його формалізацію, яка систематизує складні різномірні процеси, пов'язані з вантажними і баластними операціями.

Для опису процесу завантаження судна необхідно визначити множину або простір його станів M_s , причому кожний конкретний стан завантаження судна m_s , що належить множині M_s доцільно визначити як сукупність параметрів посадки, остійності та міцності судна, які залежать від розподілу вантажу по трюмах, а баласту і запасів по танках. Таким чином, m_s можна прийняти, як певний варіант розподілу вантажу, баласту і запасів по відповідних трюмах, танках і приміщеннях [17].

Стан судна m_s аналітично можна записати в такий спосіб:

$$m_s = \{W_{ci}, W_{bi}, W_{zi}\}, \quad (1)$$

де W_{ci} – вага вантажу в i -му вантажному приміщенні;

W_{bi} – вага баласту в i -му баластному танку;

W_{zi} – вага запасів в i -му танку або приміщенні;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість вантажних приміщень, баластних танків і приміщень для запасів відповідно.

Таким чином, стан судна m_s можна представити у вигляді n -мірного вектора, число елементів якого дорівнює сукупній кількості трюмів, танків і приміщень, які беруть участь в процесі вантажних операцій.

Вагові навантаження W_{ci} , W_{bi} і W_{zi} у векторі стану судна m_s визначені верхніми межами $\overline{W_{ci}}$, $\overline{W_{bi}}$ і $\overline{W_{zi}}$, які визначаються вантажомісткістю приміщень і танків, а також місцевою міцністю вантажних приміщень та виступають обмежувачами за технологічними параметрами.

Таким чином, процес завантаження судна являє собою траєкторію вектора $m_s(t)$ в просторі можливих станів M_s . Причому, простір станів M_s є n -мірним з кінцевим значенням (обмеженнями за технологічними параметрами) по кожному виміру.

З іншого боку, завантаження судна характеризується його морехідною безпекою, яку можна охарактеризувати вектором B_m , компонентами якого є параметри посадки, остійності та міцності.

До параметрів посадки судна відносяться: середня осадка T_{cp} з урахуванням щільності забортної води, його диферент d та крен θ [2].

Середня осадка T_{cp} є функцією водотоннажності судна D та щільності забортної води ρ , тобто:

$$T_{cp} = f(D, \rho), \quad (2)$$

Дана залежність представляється у табличному або у графічному вигляді в «Інформації про остійність і міцність судна» (Loading manual).

У свою чергу водотоннажність судна D є сумою ваги порожнього судна, ваги судових запасів (палива, масла, води), включаючи вагу оснащення, провізії та екіпажу, ваги вантажу і ваги баласту, та виражається такою залежністю:

$$D = W_0 + W_3 + W_c + W_b, \quad (3)$$

де, W_0 – вага порожнього судна;

W_3 – вага судових запасів;

W_c – вага вантажу;

W_b – вага баласту.

Диферент судна d визначається наступним аналітичним виразом:

$$d = \frac{D(x_g - x_c)}{\overline{M}}, \quad (4)$$

де D – водотоннажність судна;

x_g , x_c – абсциса центру тяжіння і абсциса центру величини відповідно;

\bar{M} – момент, диферентуючий судно на 1 см.

Значення абсциси центра тяжіння x_g обчислюється за допомогою формули:

$$x_g = \frac{M_x}{D}, \quad (5)$$

де, x_g – значення абсциси центру тяжіння;

M_x

D – водотоннажність судна.

Статичний момент мас судна щодо центру тяжіння площини ватерлінії M_x розраховується за формулою, що враховує складові моменту від порожнього судна, суднової постійної (константи), суднових запасів, прийнятого вантажу і баласту:

$$M_x = W_0 X_0 + W_k X_k + \sum_{i=1}^n W_{zi} X_{zi} + \sum_{i=1}^n W_{ci} X_{ci} + \sum_{i=1}^n W_{bi} X_{bi}, \quad (6)$$

де W_0 – вага порожнього судна;

W_k – вага суднової постійної (константи);

W_{zi} – кількість суднових запасів в i -му приміщенні;

W_{ci} – кількість вантажу в i -му трюмі;

W_{bi} – кількість баласту в i -му танку;

X_0 – абсциса центру тяжіння порожнього судна;

X_k – абсциса центру тяжіння суднової постійної;

X_{zi} – абсциса центру тяжіння суднових запасів в i -му приміщенні;

X_{ci} – абсциса центру тяжіння вантажу в i -му трюмі;

X_{bi} – абсциса центру тяжіння баласту в i -му танку;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість вантажних приміщень, баластних танків та приміщень для запасів відповідно.

Абсциса центру величини x_c , в свою чергу, є функцією середньої осадки, тобто водотоннажності D і щільності забортної води ρ :

$$x_c = f(D, \rho), \quad (7)$$

В «Інформації про остійність і міцність судна» ця залежність, як правило, представлена в табличному вигляді.

Величина моменту, диферентуючого судно на 1 см \bar{M} , також залежить від середньої осадки і є функцією водотоннажності D та щільності забортної води ρ :

$$\bar{M} = f(D, \rho), \quad (8)$$

Остійність судна характеризується такими параметрами: початковою метацентричною висотою h , перекидаючим моментом $M_{пер}$, максимальним плечем діаграми статичної остійності l_{max} , кутом максимуму діаграми статичної остійності θ_{max} , кутом заходу діаграми статичної остійності $\theta_{зах}$ [1, 3].

Початкова метацентрична висота h визначається таким виразом:

$$h = z_m - z_g + \Delta h, \quad (9)$$

де, z_g – аплікати відповідно поперечного метацентру і центру тяжіння;

Δh – поправка до початкової метацентричної висоти за наявності вільних поверхонь рідинних запасів та баласту.

У свою чергу, апліката метацентру z_m залежить від середньої осадки судна. Як правило, ця залежність виражається у табличному вигляді в судових документах.

Апліката центру тяжіння z_g залежить від статичного моменту мас M_z щодо основної площини судна і водотоннажності та розраховується за формулою:

$$z_g = \frac{M_z}{D}, \quad (10)$$

Величина статичного моменту M_z визначається наступним виразом:

$$M_z = W_0 Z_0 + W_k Z_k + \sum_{i=1}^n W_{zi} Z_{zi} + \sum_{i=1}^n W_{ci} Z_{ci} + \sum_{i=1}^n W_{bi} Z_{bi}, \quad (11)$$

де W_0 – вага порожнього судна;

W_k – вага судової постійної (константи);

W_{zi} – кількість судових запасів в i -му приміщенні;

W_{ci} – кількість вантажу в i -му трюмі;

W_{bi} – кількість баласту в i -му танку;

Z_0 – апліката центру тяжіння порожнього судна;

Z_k – апліката центру тяжіння судової постійної;

Z_{zi} – апліката центру тяжіння судових запасів в i -му приміщенні;

Z_{ci} – апліката центру тяжіння вантажу в i -му трюмі;

Z_{bi} – апліката центру тяжіння баласту в i -му танку;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість вантажних приміщень, баластних танків і приміщень для запасів відповідно.

Поправка до початкової метацентричної висоти Δh залежить від числа заповнених частково танків та розраховується за формулою:

$$\Delta h = - \frac{\sum_{i=1}^n I_{xi} \rho_{pi}}{D}, \quad (12)$$

де I_{xi} – момент інерції площі вільної поверхні рідини в i -му танку, відносно її центральної поздовжньої осі;

ρ_{pi} – щільність рідини в i -му танку;

D – водотоннажність судна;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість частково заповнених танків.

Для того щоб ця поправка дорівнювала нулю, танки повинні бути заповнені не менше ніж на 95% від їх обсягу [1, 3, 9].

Вихідні змінні, що характеризують остійність, можуть бути отримані, як характеристики діаграм статичної та динамічної остійності. У свою чергу, діаграми статичної та динамічної остійності будуються по плечах статичної остійності, відповідним деяким кутам крену судна. Плечі статичної остійності можуть бути отримані або за допомогою універсальної діаграми остійності, або при використанні пантокарен, наведених у судовій документації.

Плечі діаграми статичної остійності, а також сама діаграма, залежать від водотоннажності D , щільності забортної води ρ і статичного моменту M_z . Значення перекидаючого моменту $M_{пер}$, кута заходу діаграми $\theta_{зах}$, максимального плеча відновлюючого моменту l_{max} і відповідного йому кута крену θ_{max} знаходяться за допомогою діаграм статичної остійності, вони також є функціями водотоннажності, щільності забортної води і статичного моменту.

Постійний кут крену судна θ , крім перерахованих величин, в основному залежить від статичного моменту мас відносно діаметральної площини судна M_y , яка визначається таким виразом:

$$M_y = W_0 Y_0 + W_k Y_k + \sum_{i=1}^n W_{zi} Y_{zi} + \sum_{i=1}^n W_{ci} Y_{ci} + \sum_{i=1}^n W_{bi} Y_{bi}, \quad (13)$$

де W_0 – вага порожнього судна;

W_k – вага судової постійної (константи);

W_{zi} – кількість судових запасів в i -му приміщенні;

W_{ci} – кількість вантажу в i -му трюмі;

W_{bi} – кількість баласту в i -му танку;

Y_0 – ордината центру тяжіння порожнього судна;

Y_k – ордината центру тяжіння судової постійної;

Y_{zi} – ордината центру тяжіння судових запасів в i -му приміщенні;

Y_{ci} – ордината центру тяжіння вантажу в i -му трюмі;

Y_{bi} – ордината центру тяжіння баласту в i -му танку;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість вантажних приміщень, баластних танків та приміщень для запасів відповідно.

Можна записати наступну функціональну залежність крену судна:

$$\theta = f(D, \rho, M_z, M_y), \quad (14)$$

До параметрів міцності відносяться перерізуючі сили SF_i та згинальні моменти BM_i в i -му перерізі корпусу, що виникають при навантаженні судна, а також місцеву міцність i -го трюму P_i .

При розрахунках міцності корпусу судна враховують сили ваги та сили підтримки, що діють на судно. Причому сили ваги, що діють на корпус, представлені у вигляді двох складових – сил ваги порожнього судна та сил ваги від навантажень, що складають дедвейт [17].

В цьому випадку згинальні моменти BM_i і перерізуючі сили SF_i для кожного з перерізів судна виражаються у вигляді суми трьох доданків:

$$BM_i = BM_0 + BM_D + BM_{СП}, \quad (15)$$

$$SF_i = SF_0 + SF_D + SF_{СП}, \quad (16)$$

де BM_i , SF_i – згинальні моменти та перерізуючі сили в i -му перерізі судна;

BM_0 , SF_0 – складові перерізуючої сили та згинального моменту відповідно від сил ваги порожнього судна;

BM_D , SF_D – складові перерізуючої сили та згинального моменту відповідно від навантажень, що входять в дедвейт;

$BM_{СП}$, $SF_{СП}$ – складові перерізуючої сили і згинального моменту відповідно від дії сил підтримки.

Складові згинального моменту і перерізуючої сили, під дією сил ваги порожнього судна, для кожного контрольованого перерізу є постійними і наводяться у судовій документації. Складові величини згинального моменту і перерізуючої сили від навантажень, що входять в дедвейт, однозначно визначаються розміщенням вантажів по трюмах, баласту по танках і запасів у відповідних приміщеннях та ємностях, й розраховуються у табличному вигляді за допомогою елементарних співвідношень.

Для розрахунку складових перерізуючої сили і згинального моменту від дії сил підтримки в інструкції з контролю міцності є інформація у вигляді таблиць або графіків.

Місцева міцність P_i характеризується відношенням кількості прийнятого вантажу до площі вантажного приміщення, в якому вантаж знаходиться. У судовій документації вказані допустимі навантаження на квадратний метр площі вантажних приміщень та верхньої палуби.

Таким чином, вектор морехідної безпеки B_m формально можна відобразити таким чином:

$$B_m = (T_{cp}, d, \theta, h, M_{оп}, l_{max}, \theta_{max}, \theta_{зак}, SF_i, BM_i, P_i), \quad (17)$$

Вектор морехідної безпеки B_m в якості компонентів містить перерізуючі сили SF_i , згинальні моменти BM_i і характеристики місцевої міцності P_i , які й самі є векторами, причому розмірність SF_i і BM_i визначається числом контрольованих перерізів судна, а P_i – кількістю вантажних приміщень.

Слід зазначити, що кожному із станів m_s простору M_s відповідає певне значення вектора B_m . Тому вектор B_m можна записати наступним чином [17]:

$$B_m = F_0 (M_s), \quad (18)$$

Вектор B_m характеризується областю допустимих значень, яка визначається вимогами ІМО або класифікаційних товариств щодо значень параметрів посадки, остійності та міцності. Тому допустимій області вектора B_m , яку позначимо B_{md} , відповідає допустима область M_{sd} простору станів M_s .

Межі допустимої області вектора морехідної безпеки B_{md} є вихідними і визначають граничні значення допустимої області простору станів M_{sd} .

Якщо граничні значення допустимої області вектора морехідної безпеки позначити $\overline{B_{md}}$, а межі допустимої області простору станів – $\overline{M_{sd}}$, то можна записати наступне співвідношення [17]:

$$\overline{M_{sd}} = F_0^{-1} (\overline{B_{md}}), \quad (19)$$

Отже, процес завантаження судна $m_s(t)$ повинен перебувати в допустимій області M_{sd} та не перевищувати допустимі межі $\overline{M_{sd}}$.

Проведення суднових вантажних операцій слід розглядати як оптимізаційну задачу.

Оптимізаційна задача може бути сформульована таким чином. Обмеженнями виступають вимоги до посадки, остійності, часу проведення вантажних операцій і кількості прийнятого вантажу, а як критерій оптимальності вибираються параметри загальної поздовжньої міцності, які слід мінімізувати у процесі вантажних операцій. Як обмеження слід враховувати лімітуючі значення виробничих параметрів [14].

Оптимізаційна задача, що описує процес проведення вантажних операцій судна, може бути записана таким чином:

$$K(u_0) = \text{extr}K(u_0 \in U), \quad (20)$$

$$b_m \in B_m$$

$$m_p \in M_p$$

де K – критерій оптимальності;

b_m, B_m – відповідно параметри, що характеризують посадку, остійність і міцність судна, та безліч їх допустимих значень;

m_p, M_p – відповідно виробничі параметри і безліч їх допустимих значень;

u_0 – оптимальна стратегія задачі;

U – безліч допустимих стратегій.

У виразі перша рівність показує, що при оптимальній стратегії u_0 , що належить допустимій множині U , критерій оптимальності K досягає екстремального значення, за умови

дотримання обмежень за станом морехідності судна (другий рядок виразу) і обмежень по виробничих параметрах (третій рядок виразу).

Альтернативними стратегіями U , з яких вибирається оптимальна стратегія u_0 , є можливі завантаження судна (вантажні плани). Для навалювальних суден обмеження по посадці, остійності і міцності характеризуються не тільки процесом зміни кількості вантажу W_c і баласту W_b , а й значеннями моментів M_x , M_y і M_z , що визначають посадку і остійність судна, при цьому також відбуваються зміни перерізуєчих сил SF і згинальних моментів BM .

Обмеження щодо виробничих параметрів m_p враховують специфіку проведення вантажних операцій залежно від типу судна. Так, для навалювальних суден повинні враховуватись такі обмеження:

- кількість портових вантажних засобів, задіяних в обробці судна;
- кількість етапів завантаження (вивантаження) судна;
- сукупність трюмів і танків на кожному з етапів, які задіяні у вантажних і баластних операціях;
- кількість вантажу, що підлягає обробці для кожного з трюмів, а також кількість баласту - для кожного з танків;
- швидкісні зміни вантажних і баластних операцій на кожному з етапів.

Перераховані обмеження мають відношення до формування оптимізаційної задачі разом з обмеженнями, що забезпечують морехідність судна.

Отримання оптимальної стратегії завантаження u_0 , при якій досягається екстремум критерію K , зводиться до використання одного з методів математичного програмування, що адекватно описує вихідну постановку задачі.

Висновки. Розглянуто метод формалізації вантажних операцій навалювального судна та виявлений функціональний взаємозв'язок між параметрами, що впливають на морехідний стан судна під час операцій судна в порту. Процеси зміни кількості вантажу і баласту під час вантажних операцій, повинні на всьому їх протязі забезпечувати допустимі значення посадки судна, його остійності, загальної поздовжньої та місцевої міцності. На основі цього, проведено постановку задачі щодо вибору оптимальної стратегії проведення вантажних операцій за критерієм безперервного дотримання морехідних якостей судна.

Метою дослідження є подальше створення комп'ютерної системи, яка дозволить автоматизувати створення плану завантаження (вивантаження) навалювального судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Перси Х.Дж. Остойчивость морского судна (Метрическая система). Санкт-Петербург: ООО «МОРСАР», 2007. С. 72-77.
2. Топалов В. П., Торский В.Г., Березовский П. Е. Обеспечение безопасной эксплуатации балкеров. Одесса: Астропринт, 2001. С. 14-20.
3. I.C. Clark BSc MSc. The Management of Merchant Ship Stability, Trim & Strength. The Nautical Institute of London. 2011. P. 266-270.
4. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) – Consolidated Edition, 2014. IMO. London. 2014.
5. The International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC), 2018 Edition. IMO. London. 2018.
6. BLU Code: Code of practice for the safe loading and unloading of bulk carriers. IMO. London. 1998.
7. Load Lines - 2005 Consolidated Edition, 3-rd Edition. IMO. Publisher: Polestar Wheatons Ltd, 2016.
8. Барановский М.Е. Безопасность морской перевозки навалочных грузов. Москва: Транспорт, 1987. С. 45-47.
9. Capt. Jack Isbester. Bulk carrier practice. Second edition. Nautical Institute. 202 Lambert Road, London, 2010. P.168-169.
10. David J Eyres, G. J. Bruce. Ship Construction. 7th Edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2012. P. 363-370.
11. Таха Х. Введение в исследование операций. Москва: Вильямс, 2001. С. 84-103.
12. Моудер Д. Исследование операций. Т. 1. Методологические основы и математические методы. Москва: Мир, 1981. – С. 37-63.

13. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса: Латстар, 2002. С. 7-14.
14. Гайченя А.В. Аналитическое описание загрузки судна методами теории исследования операций. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 27. - Одесса: 2017. С. 77-85.
15. Соколов М.Ю. Метод формирования грузовой программы судна с использованием ранее созданной базы данных. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 17. - Одесса: 2009. С. 168-173.
16. Клименко Е.Н. Система автоматизированного контроля грузовых операций балкера. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 24. - Одесса: 2014. С. 84-92.
17. Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 7. - Одесса: 2004. С. 3-10.
18. Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. Выбор оптимального варианта проведения грузовых операций навалочных судов. Автоматизация судовых технических средств: Сборник научных трудов ОНМА, Вып.9. – Одесса: 2005. С. 68-74.

REFERENCES

1. H. J. Pursey. (2007). Ostoychivost morskogo sudna (Metriceskaya sistema) [Merchant ship stability (Metric edition)]. S-Petersburg, MORSAR, 72-77. (in Russian).
2. Topalov V. P., Torskiy V. G., Berezovskiy P. E. (2001). Obespechenie bezopasnoi expluatatsiyi balkerov [Ensuring the safe operation of bulk carriers]. Odessa, Astroprint, 14-20. (in Russian).
3. I.C. Clark BSc MSc. (2011). The Management of Merchant Ship Stability, Trim & Strength. The Nautical Institute of London, 266-270. (in English).
4. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). Consolidated Edition. 2014, IMO, London, 2014. (in English).
5. The International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC). 2018 Edition. IMO, London, 2018. (in English).
6. BLU Code: Code of practice for the safe loading and unloading of bulk carriers. IMO. London, 1998. (in English).
7. Load Lines. 2005 Consolidated Edition, 3-rd Edition. IMO. London, 2016. (in English).
8. Baranovskiy M. E. (1987). Bezopasnost morskoy perevozki navalochnih грузов [Safety in the carriage of bulk cargo by sea]. Moscow, Transport, 45-47. (in Russian).
9. Capt. Jack Isbester. (2010). Bulk carrier practice. Second edition. Nautical Institute, London, 168-169. (in English).
10. David J Eyres, G. J. Bruce. (2012). Ship Construction. 7th Edition. Butterworth-Heinemann, Oxford, 363-370. (in English).
11. Hamdy A. Taha. (2001). Vvedenie v issledovanie operatsiy [Operations Research. An Introduction]. Moscow, Viliams, 84-103. (in Russian).
12. Joseph J. Moder. (1981). Issledovanie operatsiy [Handbook of Operations Research]. Moscow, Mir, 7-14. (in Russian).
13. Vaguschenko L. L., Tsymbal N. N. (2002). Systemy avtomaticheskogo upravleniya dviganiem sudna [Automatic vessel navigation control systems]. Odessa, Latstar, 37-63. (in Russian).
14. Gaychenya A. V. (2017). Analiticheskoe opisanie zagruzki sudna metodami teorii issledovaniya operatsiy [Analytical description of the vessel loading by methods of operations research]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"], 42, Odessa, ONMA, 77-85. (in Russian).
15. Sokolov M. Y. (2009). Metod formirovaniya gruzovoi programmy sudna s ispolzovaniem ranee sozdannoi bazy dannih [Method of construction of the vessel's cargo program using the previously established database]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"] 18, Odessa, ONMA, 168-173. (in Russian).
16. Klymenko E.N. (2014). Sistema avtomatizirovannogo kontrolya gruzovih operatsiy balkera [Bulk carrier's cargo operations automatic control system]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"] 24, Odessa, ONMA, 84-92. (in Russian).
17. Tsymbal N. N., Vaskov Y. Y. (2004). Formirovanie optimizacionnoy zadachi provedeniya gruzovih operatsiy navalochnyh sudov [Formation of the optimization task of carrying out the loading operations of bulk carriers]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"] 7, Odessa, ONMA, 3-10. (in Russian).
18. Tsymbal N. N., Vaskov Y. Y. (2005). Vibor optimal'nogo varianta provedeniya gruzovih operatsiy navalochnyh sudov [Selection of the best option of cargo operations handling for bulk carriers]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"] 9, Odessa, ONMA, 68-74. (in Russian).

*Болгов Алексей Сергеевич, ш.д.п.,
(аспирант Государственного университета инфраструктуры и технологий);
Тихонов Илья Валентинович, д.т.н., с.н.с, к.д.п.,
(доцент кафедры судовождения и управления судном Государственного университета
инфраструктуры и технологий)*

**МЕТОД АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ
НАВАЛОЧНОГО СУДНА С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ПРОВЕДЕНИЯ
ПО КРИТЕРИЮ СОХРАНЕНИЯ МОРЕХОДНОГО СОСТОЯНИЯ СУДНА**

В статье приведен метод аналитического описания грузовых операций навалочного судна с целью формирования оптимальной стратегии проведения грузовых операций по фактору непрерывного сохранения мореходного состояния судна.

Ключевые слова: навалочное судно, грузовые операции, аналитическое описание, план грузовых операций, мореходное состояние судна, оптимизация грузовых операций.

*Oleksiy Bolgov,
(Graduate student of the State University of Infrastructure and Technologies);
Illya Tykhonov ,Doctor of Technical Sciences,
(Associate Professor of the Department of Navigation and Ships' Management, State University
of Infrastructure and Technologies)*

**METHOD FOR ANALYTICAL DESCRIBING OF THE BULK CARRIER LOADING
OPERATIONS AND OPTIMIZING THEM ACCORDING TO THE CRITERION
OF THE NAUTICAL SAFETY**

The nautical safety of bulk carriers is largely determined by their correct loading. Available ship instruments do not allow for prompt cargo operations planning and real time vessel state controlling during their realization. The vessel responsible officer has to spend considerable time preparing the plan for loading (unloading) the vessel. The plan, often already prepared and approved by the Captain, has to be changed rapidly due to the changed conditions of cargo operations at the port. The high intensity of cargo operations at modern bulk terminals and the lack of sufficient time to prepare and verify the new cargo plan may create a risk of cargo holds being overloaded. This may lead to deterioration in the local and longitudinal strength of the hull and a violation in the seaworthiness of the vessel. The solution to this problem should be the creation of new computer system that will automate the bulk carriers loading operations planning, as well as making possible rapid changes to prepared plan when it become necessary. Such system should be based on a method (strategy) for optimization the distribution of a certain quantity of bulk cargo, taking into account the availability of port facilities and the design of the vessel itself, her nautical parameters, stability, longitudinal and local strength. In order to achieve this objective, it is necessary to formalize the cargo operations in terms of the mathematical model of the vessel and to establish the functional relationship between the parameters affecting the seaworthiness of the vessel. Obviously, the development of this method is a promising area of scientific research aimed to improve the safety of bulk vessels.

The article describes the method of formalization of the loading operations of a bulk vessel with the task of choosing the best strategy for carrying out cargo operations according to the criterion of continuous seaworthiness of the vessel.

Keywords: bulk carrier, cargo operations, analytical description, loading (discharging) plan, nautical safety, cargo operations optimization.