

УДК 656.614.3

Олексій Болгов^{1*}

¹Аспірант, Кафедра Судноводіння, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0339-5533>.

*Автор, відповідальний за листування: bolgov_a@ukr.net

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОРЕХІДНОГО СТАНУ НАВАЛЮВАЛЬНОГО СУДНА НА ЕТАПІ ПРОВЕДЕННЯ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ

Проведення вантажних операцій навалювальних суден (балкерів) є відповідальним етапом у процесі їх експлуатації, оскільки визначає рівень їх безпеки на майбутньому переході. Для балкерів висувуються підвищені вимоги щодо розміщення вантажу та баласту з безперервним контролем їхньої остійності та міцності. Побудова вантажного плану судна покладається на вантажного помічника капітана, який користується судновою документацією та спеціалізованими комп'ютерними засобами наданими суднобудівником. Зазвичай ці інструменти розраховані на обмежену кількість стандартних варіантів завантаження судна, та не враховують багато факторів, які можуть виникати у дійсності. Робота по складанню вантажного плану судна стає процесом, який займає багато часу та не завжди гарантує ефективність і безпеку судна на кожному з його етапів. Тому пошук інструментів для проведення вантажних операцій балкерів з постійним забезпеченням усіх морехідних якостей судна на безпечному рівні залишається актуальним.

У статті запропоновано загальний підхід до формування множини допустимих завантажень навалювальних суден з урахуванням обмежень які накладаються вимогами міжнародних конвенцій до безперервного збереження їх морехідного стану.

Ключові слова: морехідні якості судна, навалювальне судно, вантажні операції, посадка судна, остійність судна, міцність судна, оптимізація, вантажний план судна.

Вступ. Морехідний стан судна включає відповідність параметрів його остійності, посадки і міцності допустимим межах, що забезпечуються в процесі експлуатації коректним завантаженням судна. Вимоги щодо остійності, посадки та міцності судна є універсальними для всіх типів суден і закріплені кодексами Міжнародної Морської Організації (ММО) та документами судноплавних Регістрів окремих країн. Проведення вантажних операцій навалювальних суден (балкерів) є відповідальним етапом у процесі їх експлуатації, оскільки визначає рівень безпеки судна на майбутньому переході. Для балкерів висувуються підвищені вимоги щодо таких операцій з безперервним контролем їхньої остійності, поздовжньої та місцевої міцності. Існуючі на таких суднах інструменти для планування вантажних операцій не охоплюють усі можливі сценарії їх проведення. В умовах обмеженого часу проведення портових операцій, це може призводити до неефективного планування вантажно-розвантажувальних робіт судна з наступною тимчасовою або частковою втратою його морехідних якостей.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Питанням експлуатації сучасних балкерів присвячено роботи [1, 2, 3].

Проблемам побудови вантажного плану та проведення портових операцій навалювальних суден присвячені роботи [4, 5, 6].

Міжнародною морською організацією було прийнято низку конвенцій, у яких закріплені вимоги до проведення вантажних операцій морських суден [7, 8, 9, 10, 11].

Загальні принципи оптимізації вантажних операцій навалювальних суден розглянуті у статтях [12, 13].

Математичні моделі вантажних операцій навалювальних і універсальних суден, а також використання методів лінійного програмування для вирішення задач оптимізації були розглянуті у роботах [14, 15].

Постановка задачі формалізації завантаження навалювального судна розглянута у статті [16].

Міжнародна морська конвенція СОЛАС вимагає від персоналу суден планувати та проводити вантажні операції таким чином, щоб судно відповідало усім морехідним критеріям у будь-який момент цих операцій і було готово до виходу в море на будь-якому їх етапі.

На навалювальних суднах існують інструкції щодо коректних варіантів їх завантажень (Loading manual), або спеціальні вантажні програми, які дозволяють оцінити параметри морехідного стану судна за вибраним варіантом його завантаження. Завдання вантажного помічника капітана полягає у визначенні варіанта завантаження, що відповідає допустимим параметрам остійності, посадки та міцності судна. Це завдання частково реалізовано в документації щодо типових завантажень судна, які охоплюють далеко не всі можливі ситуації завантажень, можливу номенклатуру вантажів та особливості майбутнього рейсу судна. Таким чином, пошук оптимального вантажного плану може вимагати значних зусиль відповідального персоналу.

Використання сучасної обчислювальної техніки дозволяє розрахувати допустимі завантаження судна з урахуванням обмежень за критеріями морехідності, за умови, що процес завантаження судна формалізовано та розроблено алгоритми та програми його завантаження.

Пошук методів оптимізації проведення вантажних операцій балкерів залишається актуальним. Основними етапами такого пошуку будуть коректне формулювання системи обмежень, що накладаються забезпеченням необхідних морехідних якостей судна та іншими факторами, постановка оптимізаційної задачі та вибір математичних методів для її вирішення.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є формулювання системи обмежень, які накладаються забезпеченням морехідних якостей судна та аналіз можливостей визначення допустимих варіантів завантажень судна, що задовольняють цим обмеженням.

Матеріали та методи дослідження. При загальних вимогах забезпечення морехідних якостей різні типи морських суден мають додаткові вимоги, пов'язані з особливостями їхньої конструкції або технології перевезення вантажів.

Так, для універсальних суден при завантаженні генеральних вантажів висувається ряд специфічних вимог, до яких належать, перш за все, необхідність урахування сумісності вантажів, що знаходяться в одному вантажному приміщенні, велика кількість партій вантажу, що приймаються до перевезення, послідовність портів вивантаження партій вантажу, необхідність обмеження кількості ярусів вантажу залежно від міцності тари вантажного місця.

У свою чергу, до навалювальних суден через їх значну довжину виставляються підвищені вимоги щодо забезпечення допустимих навантажень, значення яких лімітуються загальною поздовжньою та місцевою міцністю корпусу судна, що визначає ряд особливостей вантажних операцій цих суден. Насамперед, вантажні та баластні операції балкерів здійснюються одночасно. Причому, залежно від кількості трюмів судна, що одночасно обробляються, та питомого вантажного обсягу вантажу, вантажні та баластні операції проводяться в кілька етапів (до двадцяти).

На навалювальних суднах зазвичай існує інструкція щодо їх стандартних завантажень, яка надається будівником судна, структура якої залежить від питомого вантажного обсягу вантажу і кількості трюмів, що одночасно обробляються. Примітно, що до завантаження в таких

інструкціях пропонується лише один тип вантажу. Для кожного стандартного варіанта проведення вантажних операцій в інструкції наводиться послідовність етапів завантаження судна, кожен з яких характеризується набором трюмів, що завантажуються, і приростами вантажу в них, а також комбінацією танків, задіяних в баластних операціях. По завершенні кожного з етапів судно повинно перебувати у допустимому мореходному стані.

У ситуації нестандартних завантажень навалювальних суден, не охоплених інструкцією суднобудівника, виникають складнощі з плануванням та проведенням вантажних операцій із забезпеченням належного морехідного стану судна, ефективним використанням його вантажомісткості та вантажопідйомності. У цьому випадку виникає проблема у проведенні вантажних операцій, яку судноводій змушений вирішувати самостійно, розробляючи перелік послідовних етапів, на кожному з яких вирішується завдання щодо розміщення максимально можливої кількості вантажу у трюмах з урахуванням одночасної обробки необхідної групи баластних танків. При цьому має виконуватися низка обмежень щодо забезпечення морехідних якостей судна.

Отже, обмеження, що накладаються на різні варіанти завантаження судна, і що визначають множину допустимих завантажень, можна поділити на кілька груп.

До першої групи можна віднести загальні для всіх типів суден обмеження щодо посадки судна, а до другої групи – обмеження з його остійності.

Розглянемо першу групу обмежень, що забезпечує морехідний стан судна. До них належать, передусім, обмеження щодо посадки судна, тобто, середня допустима осадка судна T_{cp} і допустимі межі його диференту d . Зазвичай до цієї групи відносять ще і крен судна k . На практиці судовий персонал намагається не допускати значний крен судна протягом вантажних операцій, тому ми можемо не вводити окремих обмежень по крену судна.

Середня допустима осадка судна T_{cp} обмежується вимогами міжнародної конвенції про вантажну марку [10], документацією суднобудівника, рейсових навігаційних обмежень осадки судна, а також критерієм мінімальних осадок носом та кормою для недопущення слемінгу чи оголення гвинта.

Таким чином виникає обмеження по T_{cp} :

$$T_{min} \leq T_{cp} \leq T_{max} \quad (1)$$

де T_{min} та T_{max} – відповідно нижня та верхня межі середньої осадки судна T_{cp} .

Мінімальне граничне значення диферента d_{min} можна прийняти рівним нулю, оскільки зазвичай не допускається диферент на ніс судна, що пов'язане з труднощами проведення баластних операцій та розрахунком кількості вантажу на судні. Максимальне значення диференту d_{max} регулюється наявними на судні таблицями заміру баласта та інших рідин, обмеженнями в роботі судового обладнання, критерієм хідкості судна. Обмеження щодо диференту d :

$$d \in [0, d_{max}] \quad (2)$$

Обмеження, що забезпечують необхідну остійність судна віднесемо до другої групи. Вони виражені, насамперед, обмеженням, накладеним на початкову метацентричну висоту h :

$$h_{min} \leq h \leq h_{max} \quad (3)$$

де h_{min} та h_{max} – відповідно нижня та верхня межі початкової метацентричної висоти h .

Мінімальне значення метацентричної висоти h_{min} лімітується вимогами ММО до початкової остійності суден, а саме міжнародним кодексом остійності непошкодженого судна, а також кодексом безпечного перевезення зерна насипом, для навалювальних суден, що перевозять зернові вантажі і становлять відповідно 0,15 та 0,30 м.

Верхня межа початкової метацентричної висоти h_{max} не лімітується вимогами ММО, але може встановлюватися судноплавними компаніями для власних суден.

Такі параметри остійності судна, як перекидаючий момент $M_{пер}$, максимальне плече діаграми статичної остійності l_{max} , кут крену судна на який припадає максимальне плече θ_{max} , та кут заходу діаграми $\theta_{зах}$ знаходяться за допомогою діаграми статичної остійності, а їх величини лімітуються нормативними вимогами кодексів ММО та Регістрами судноплавства окремих країн до початкової остійності суден.

Так, згідно з цими вимогами, максимальне плече діаграми статичної остійності l_{max} має бути не менше 0,20 м для суден завдовжки 105 м при куті крену більшому ніж 30° .

Кут крену θ_{max} при якому плече діаграми статичної остійності досягає максимуму, повинен бути не менше 30° .

Кут заходу діаграми статичної остійності $\theta_{зах}$ повинен бути не менше 60° .

Відношення перекидального моменту $M_{пер}$ до накреньяльного моменту $M_{кр}$ (критерій погоди) повинен бути більше або дорівнювати 1 [17].

Третя група параметрів характеризує загальну поздовжню міцність судна і виражається гранично допустимим значенням згинальних моментів BM_i і перерізуючих сил SF_i для i -го контрольного перерізу судна. Максимально допустимі значення згинального моменту і перерізуючої сили для кожного контрольованого перерізу є постійними і наводяться у судовій документації з вантажних операцій.

До цієї ж групи можна віднести і місцеву міцність P_i , яка характеризується відношенням ваги 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.

Всі параметри, що лімітуються і характеризують морехідний стан судна $T_{сп}$, d , h , $M_{пер}$, l_{max} , θ_{max} , $\theta_{зах}$, BM_i , SF_i та P_i , є функціями водотоннажності судна D та його повздовжнього M_x та вертикального M_z статичних моментів. Причому з моментом M_x пов'язані диферент d , згинальні моменти BM_i та перерізуючі сили SF_i , а з моментом M_z – початкова метацентрична висота h та характеристики діаграми статичної остійності $M_{пер}$, l_{max} , u_{max} , $u_{зах}$. Отже, виходячи з граничних значень d_{max} , h_{min} , h_{max} , $M_{пер}$, l_{max} , θ_{max} , $\theta_{зах}$, BM_i , SF_i та P_i які висувають вимогу до забезпечення морехідного стану судна, можна знайти граничні значення водотоннажності судна D_{max} , граничні значення M_x^{min} та M_x^{max} його повздовжнього моменту, а також верхню M_z^{max} та нижню M_z^{min} границі вертикального моменту.

Якщо позначити через D' , M'_x , M'_z відповідно водотоннажність та статичні моменти, що виникають при деякому обраному варіанті завантаження судна, то очевидно всі ті завантаження, для яких справедливі такі обмеження:

$$D' \leq D_{max},$$

$$M'_x \in [M_x^{min}, M_x^{max}], \quad (4)$$

$$M'_z \in [M_z^{min}, M_z^{max}]$$

належать до множини K допустимих завантажень за вимогами забезпечення необхідних морехідних якостей судна. Для конкретного типу судна потрібно враховувати додаткові специфічні обмеження, які можуть унеможливити частину завантажень серед допустимої множини варіантів K . Так, наприклад, для балкерів, які перевозять зернові вантажі, додатковою групою обмежень будуть вимоги Міжнародного кодексу з безпечного перевезення зерна насипом, одним з яких є кут крену від зміщення зерна [11].

З позиції забезпечення морехідних якостей судна, протягом завантаження судна необхідно орієнтуватися не на кінцевий морехідний стан судна $D'(t_k)$, а на кожен поточний його стан $D'(t)$, з початку навантаження і до його завершення, тобто має виконуватися система обмежень:

$$\begin{aligned} D'(t) &\leq D_{max}, \\ M'_x(t) &\in [M_x^{min}, M_x^{max}], \\ M'_z(t) &\in [M_z^{min}, M_z^{max}], \\ t &\in [0, t_k], \end{aligned} \quad (5)$$

де t_k – момент закінчення вантажних операцій судна.

Додатковими «виробничими» обмеженнями для навалювальних суден можуть бути:
кількість встановлених етапів вантажних операцій у порту;
кількість наявних вантажних засобів в порту та їх потужність;
забезпечення нерозривності коносаментних партій;
розміщення вантажу у трюмах з урахуванням ротації портів завантаження-розвантаження;
кількість вантажу до розміщення в кожному з трюмів судна;
кількість баласту для кожного з танків, та швидкість виконання баластних операцій;

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

Оптимізаційна задача може бути сформульована таким чином. Обмеженнями виступають вимоги до посадки, остійності, часу проведення вантажних операцій, ряд виробничих параметрів які залежать від специфіки самого судна та порту, а в якості критерію оптимальності вибираються параметри загальної поздовжньої міцності, які слід мінімізувати у процесі вантажних операцій.

Висновки. У статті автором висвітлено проблему недосконалості існуючих інструментів з планування вантажних операцій навалювальних суден та акцентовано необхідність створення нових універсальних методів створення вантажного плану судна. Запропонований загальний підхід до формування безлічі допустимих завантажень навалювального судна створює передумови для постановки задачі щодо вибору оптимальної стратегії проведення вантажних операцій за критерієм безперервного дотримання необхідних значень морехідних якостей судна. Сформульована система обмежень, які накладаються параметрами морехідного стану судна, та наведена низка виробничих параметрів, які характеризують взаємодію судна з портом. Вантажні операції навалювальних суден повинні на всьому їх протязі забезпечувати допустимі значення посадки судна, його остійності, загальної поздовжньої та місцевої міцності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Топалов В. П., Торский В.Г., Березовский П. Е. Обеспечение безопасной эксплуатации балкеров. Одесса: Астропринт, 2001. 185 с.

2. Capt. Jack Isbester. Bulk carrier practice. Second edition. Nautical Institute. 202 Lambert Road, London, 2010. P. 28 – 44.
3. David J Eyres, G. J. Bruce. Ship Construction. 7th Edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2012. P. 102 - 111.
4. Павленко Л. В. , Козырь Л. А. Особенности эксплуатации балкеров. Одесса: Ластар, 2012. С. 12-18.
5. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем. Санкт-Петербург: АНО НПО. 2011. С. 21 - 32.
6. Перси Х.Дж. Остойчивость морского судна (Метрическая система). Санкт-Петербург: ООО «МОРСАР», 2007. С. 97 - 102.
7. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) – Consolidated Edition, 2014. IMO. London. 2014. P. 243.
8. BLU Code: Code of practice for the safe loading and unloading of bulk carriers. IMO. London. 2002. P. 115.
9. The International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC), 2018 Edition. IMO. London. 2018. P. 74.
10. Load Lines – 2005 Consolidated Edition, 3-rd Edition. IMO. Publisher: Polestar Wheatons Ltd, 2016. P. 103.
11. The International Code for the Safe Carriage of Grain in Bulk, 2-nd Edition. IMO. London. 2004. P. 88.
12. Цымбал Н.Н., Васюков Ю.Ю. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 7. Одесса: 2004. С. 3-10.
13. Егоров Г.В. Метод оптимизации загрузки и балластирования судов. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып.6. Одесса: 2003. С. 48-59.
14. М. Ю.Соколов. Методы оптимизации загрузки судов. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып.19. Одесса: 2011. С. 221-225.
15. М. Ю.Соколов. Общий вид зависимостей параметров посадки, остойчивости и прочности судна от исходных данных. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып.16. Одесса: 2009. С. 199-204.
16. Болгов О.С., Тихонов И.В. Метод аналитического опису вантажних операцій навалювального судна з метою оптимізації їх проведення за критерієм морехідної безпеки судна. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 35. Київ. 2020. С. 194-202.
17. Правила реєстру судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден. Київ. 2020. С. 24-25.

REFERENCES

1. Topalov V. P., Torskiy V. G., Berezovskiy P. E. (2001). Obespechenie bezopasnoi expluatacyi balkerov [Ensuring the safe operation of bulk carriers]. Odessa, Astroprint, (in Russian).
2. Capt. Jack Isbester. (2010). Bulk carrier practice. Second edition. Nautical Institute, London. (in English).
3. David J Eyres, G. J. Bruce. (2012). Ship Construction. 7th Edition. Butterworth-Heinemann, Oxford. (in English).
4. Pavlenko L. V., Kozyr L. A. (2012). Osobennosti ekspluatacii balkerov. [Features of the operation of bulk carriers]. Odessa. Laster. (in Russian).
5. Snopkov V.I. (2011). Tehnologii perevozki gruzov morem. balkerov [Technology of cargo transportation by sea.]. St-Petersburg. ANO NPO. (in Russian).
6. H. J. Pursey. (2007). Ostoychivost morskogo sudna (Metriceskaya sistema) [Merchant ship stability (Metric edition)]. S-Petersburg, MORSAR. (in Russian).
7. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). Consolidated Edition. 2014, IMO, London, 2014. (in English).
8. BLU Code: Code of practice for the safe loading and unloading of bulk carriers. IMO. London, 1998. (in English).
9. The International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC). 2018 Edition. IMO, London, 2018. (in English).
10. Load Lines. 2005 Consolidated Edition, 3-rd Edition. IMO. London, 2016. (in English).
11. The International Code for the Safe Carriage of Grain in Bulk, 2-nd Edition. IMO. London. 2004. (in English).
12. Tsybal N. N., & Vaskov Y. Y. (2004). Formirovanie optimizatsionnoy 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).
13. Egorov G. V. (2003). Metody optimizatsii zagruzki i ballastirovki sudov. Sbornik nauchnih trudov “Sudovozdenie” [Research journal “Shipping and Navigation”], 6, Odessa, ONMA, 48-59. (in Russian).
14. Sokolov M. U. (2011). Metody optimizatsii zagruzki sudov. [Ship loading and ballast optimization method]. Sbornik nauchnih trudov. “Sudovozdenie” [Research journal “Shipping and Navigation”], 19, Odessa, ONMA, 221-225. (in Russian).
15. Sokolov M. U. (2009). Obshiy vid zavisimostey parametrov posadki, ostoychivosti i prochnosti sudna ot ishodnih danih [General view of the dependences of landing parameters, stability and strength of the vessel on the initial data]. Sbornik nauchnih trudov “Sudovozdenie” [Research journal “Shipping and Navigation”], 16, Odessa, ONMA, 199-204. (in Russian).
16. Bolgov O. S., & Tyhonov I. V. (2020). Metod analitichnogo opisu vantagnyh operatsiy navaluvalnogo sudna z metoyu optimizatsii yh provedennya za kriteriem morehidnoi bezpki sudna. [The method of analytical description of the cargo operations of a bulk carrier with the method of optimization of them carried out according to the criterion of seaworthy safety of the vessel]. Zbirnyk naukovih pratz DUIT “Transportni sistemi i tehnologii”, 35, Kiyv, DUIT, 194-202. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-19>.
17. Pravila registru sudnolavstva Ukrainy. Pravila klasifikatsii ta sporudnennya suden. Kiev. 2007. (in Ukrainian).

*Oleksiy Bolgov*¹

¹ Graduate student, Navigational Department, State University of Infrastructure and Technologies, 9, Kyrylivska str., Kyiv, 04071, Ukraine. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0339-5533>

ENSURING THE SEAWORTHINESS OF A BULK VESSEL AT THE STAGE OF CARGO OPERATIONS

The seaworthiness includes the conformity of the parameters of the vessel's stability and strength to the permissible limits, which is provided during the port loading and discharging operations. Requirements concerning the ship's stability and strength are universal for all types of vessels and are postulated in the International Maritime Organization (IMO) codes and documents of the shipping registers of different countries. The cargo operations of bulk carriers are responsible moment, as it determines the level of their seaworthiness and maritime safety at the sea voyage. For bulkers raised strict requirements in regard of cargo distribution and ballast operations with continuous control of their stability and strength. The search of methods for optimal performing cargo operations of the bulk vessels with assurance of all seaworthy parameters at the safe level remains actual.

The bulk carriers usually have instructions for their standard loading options provided by the ship's builder, the character of which depends on the specific cargo volume and the number of holds processed at the same time. For each standard variant of cargo operations, the instructions provide a sequence of stages of loading the vessel. At the end of each stage, the vessel must be in acceptable seaworthy condition. In the situation of non-standard loading of bulk carriers, which are not covered by the shipbuilder's instructions, there are difficulties with planning and conducting cargo operations to ensure proper seaworthiness of the vessel, efficient use of its carrying capacity. Ship personnel must independently deal with the distribution of cargo, sorting through various loading options, which is not always efficient and time consuming. At the same time, a number of restrictions on the seaworthiness of the vessel must be met.

The purpose of this article is to analyze the possibilities of determining acceptable variants of loading of the bulk vessel, which satisfy the limitations imposed by parameters of the seaworthiness and marine safety. The limitations imposed by the requirements of continuous vessel's seaworthiness were considered and divided into groups with a view to creating an optimization task. The general approach to formation of a number of permissible loading of the bulk vessel, proposed in the article, creates preconditions for setting the task of choosing the optimal strategy of carrying out cargo operations on the criteria of continuous observance of seaworthy characteristics of the vessel.

Keywords: *Seaworthiness, bulk carrier, cargo operations, the vessel seating, the vessel stability, the vessel strength, optimization, vessel's loading plan.*