

Давидов В.С., Доронін В.В., Любарець І.О.

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ ПРИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ У СКЛАДНИХ НАВІГАЦІЙНИХ ТА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Анотація. У статті розглянути особливості управління та навігації великогабаритних контейнеровозів при їх експлуатації у складних навігаційних та гідрометеорологічних умовах. Запропоновано шляхи підвищення безпеки експлуатації великогабаритних суден контейнеровозів засобами навігації та управління, які мають вирішити проблему надто частой аварійності суден контейнеровозів. Розглянуті та проаналізовані відносно недавні найбільш масштабні аварійні морські пригоди (АМП) суден контейнеровозів, визначені основні причини цих АМП, з огляду на які, запропоновано новий алгоритм роботи навігаційного містка суден контейнеровозів, оснований на використанні нових підходів щодо управління і навігації. Розроблені пропозиції щодо доцільності використання систем управління судном та носових підрулюючих пристроїв (НПП), при плаванні каналами і фарватерами та швартуванні великогабаритних суден контейнеровозів. Приділено увагу маневруванню ультра великих суден контейнеровозів (англ. *Ultra Large Container Carrier*, (далі *ULCC*). Через те що, коефіцієнт повноти корпусу судна *ULCC* відносно великий, а відхилення вектору сили від накопиченого діючого моменту інерції за рахунок підвищеної швидкості може досягати 40° від курсу судна на різких поворотах, поведінка таких суден при здійсненні плавання в складних навігаційних умовах має певні особливості і потребує від судноводіїв застосування принципово нових засобів навігації та управління з урахуванням конструктивних особливостей таких суден. Окрім цього, судна контейнеровози мають велику вітрильність, у порівнянні з суднами інших типів. При чому, вітрильність досягає великих значень, як і при повному завантаженні, так і в стані баласту, що є відмінною рисою суден контейнеровозів. Запропоновано використання математичної моделі за допомогою якої, визначається критерій безпеки при здійсненні плавання великогабаритних суден контейнеровозів в складних навігаційних та гідрометеорологічних умовах, який залежить від стійкості судна на циркуляції, поворотності, вітрильності, гідрометеорологічних умов, тощо, які дозволяють дотримуватись керованості таких суден для утримання на осі суднового ходу.

Ключові слова: безпека плавання, управління та навігація, алгоритм, кутомірно-далекомірний пристрій, траєкторія руху, судно контейнеровоз, критерій безпеки.

Постановка проблеми. Згідно із статистикою, наведеною Taylor & Francis Group, 90% світового вантажообігу припадає на морські перевезення. З них 35% припадає на контейнерні перевезення [1]. Завдяки динамічному розвитку економік Індії, Китаю, країн ЄС, США, Японії та ін., на узбережжях цих країн виникла потужна сітка портової інфраструктури. Збільшення обсягів торгівлі між вищевказаними країнами безпосередньо призводить до збільшення інтенсивності вантажоперевезень. А завдяки глобальній стандартизації та автоматизації промисловості ці перевезення все більше й більше стають контейнерними та якомога швидшими. Разом з тим, різкий зріст кількості суден контейнеровозів, їх розмірів, а особливо їх швидкості призвів до низки проблем, з якими суднопластво досі не зіштовхувалось.

Основна проблема полягає в тому, що загальноприйняті сьогодні засоби навігації та управління нездатні забезпечити безпеку експлуатації сучасних суден контейнеровозів. Також, на таких суднах відсутні технічні засоби, які б дозволили прогнозувати їх місцезнаходження на траєкторії руху. Про це яскраво свідчать відносно недавні великі

аварії контейнеровозів Milano Bridge в Пусані 06.04.2020 [2], Ever Given у Суецькому каналі 23.03.2021 [3], та CSL Indian Ocean на р. Ельба 03.02.2016 [4].

Мета роботи. Визначення особливостей навігації та управління великогабаритних суден контейнеровозів при їх експлуатації в складних навігаційних та метеорологічних умовах. Розробка узагальненого алгоритму роботи ходового містка суден контейнеровозів з використанням координатного курсору ECDIS в якості високоточного кутомірно-далекомірного пристрою, та пропозицій щодо розробці математичної моделі, яка буде покликана встановити алгоритмічну залежність вихідного ефекту запропонованої моделі від сукупності параметрів управління та навігації (4) за допомогою яких, можна оцінити безпеку плавання суден контейнеровозів при проходженні каналів та інших скрутних ділянок, у вигляді параметрів вітрильності судна, параметрів, поворотності судна, параметрів стійкості судна на циркуляції та ін., які дозволяють дотримуватись керованості таких суден, при експлуатації в складних навігаційних та метеорологічних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням в області управління та навігації великогабаритних контейнеровозів при їх експлуатації у складних навігаційних та гідрометеорологічних умовах та забезпечення безпеки їх плавання приділяла увагу велика кількість як вітчизняних, так і зарубіжних учених, серед них: Драчов В.М.; Зубарев В.Л.; Мальцев А.С.; Тюпиков Є.Є.; Ворохобін І.І.; Удалов В.І.; Давидов В.С.; Доронін В.В. та ін. [5].

Виклад основного матеріалу. Шалений попит на великі судна контейнеровози зумовив різкий ріст кількості таких суден на морських шляхах. Станом на сьогодні в світі налічується більше 400 суден контейнеровозів довжина яких сягає 397-400 м. Як було зазначено вище, судноплавство зіткнулося з новими проблемами під час експлуатації таких суден. При чому, більшість неприємностей виникає при маневруванні таких суден. 06.04.2020 судно Milano Bridge при підході до причалу в порту Пусан, протаранило 6 портальних кранів та одне пришвартоване судно. Згідно з висновком Корейського Морського Трибуналу, Milano Bridge підійшло до причалу з перевищенням швидкості та недостатніми маневровими якостями через неповне занурення гребного гвинта та пера керма (рис.1).

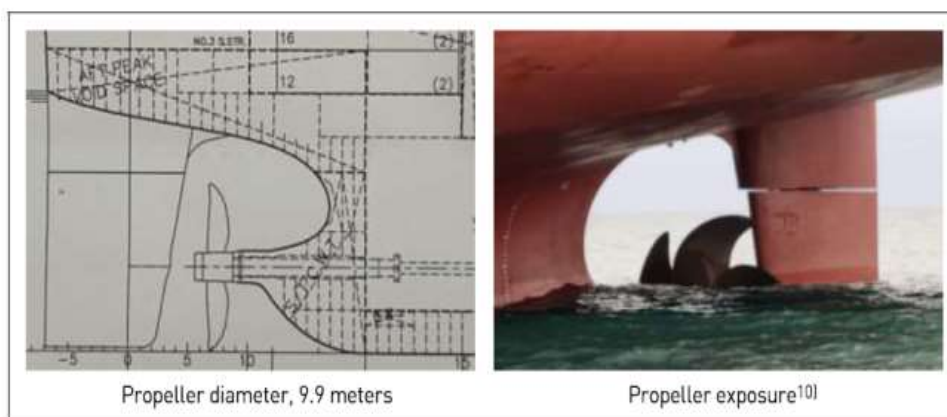


Рисунок 1 – Занурення гвинта та керма Milano Bridge при АМП.

З перевищенням швидкості існує лише один метод боротьби – її зниження. На перший погляд проста річ, проте не все так легко, як здається, особливо, коли мова йде про судна контейнеровози. Справа в тому, що судна контейнеровози мають дуже велику парусність, як в баласті, так і в завантаженому стані. Це своєрідний феномен суден такого типу. Коли вони завантажені - то мають велику парусність завдяки великій кількості палубного

вантажу, а коли в баласті – велику площу надводного борту, високу надбудову та маленьку осадку, через яке суттєво зменшується підводний об'єм судна і відповідно опір води. За таких обставин, судно буде вразливіше до дії вітру. На маленькій швидкості, коли потік, що набігає на перо керма, створює слабкий тиск момент бокової сили руля часто стає меншим сумарного моменту від дій сил вітру [6]. За таких обставин навіть самий слабкий вітер буде серйозно впливати на керованість таких суден. Наприклад, контейнеровоз Ever Given у Суецькому каналі 23.03.2021 зійшов із осі суднового ходу, саме завдяки вітру, який буквально за лічені хвилини поставив гігантське судно поперек каналу. Тому для того аби зберегти керованість судна дуже важливо підтримувати оптимальну швидкість. З іншого боку, зі збільшенням швидкості судна зменшується глибина під кілем через гідродинамічне просідання судна і накопичується момент інерції. Зважаючи на ці обставини, все зводиться до того, що судноводію необхідно спершу визначати, а потім тримати оптимальну швидкість, достатню для збереження керованості судна на всіх ділянках маневру та вчасно гасити інерцію. Така задача вирішується знанням інерційно-гальмівних характеристик судна та технічних характеристик силової енергетичної установки (СЕУ) і правильним її застосуванням в комплексі з НПП. Проте, наявність НПП на суднах контейнеровозах часто не дає очікуваних результатів, через те, що гвинт такого пристрою при стані судна в баласті, знаходиться дуже близько до поверхні води, де гідродинамічний тиск низький, і для хоч якоїсь ефективності потрібні високі обороти, які зумовлюють явище кавітації, яка в свою чергу, суттєво зменшує ефективність рушія НПП. Прямолінійна швидкість судна також істотно зменшує ефективність такого пристрою, який стає взагалі неефективним на швидкості 5 та більше вузлів. На судні, що рухається вперед, сила НПП додається дуже близько до центру гідродинамічної сили, але вона надто мала в порівнянні з силою підводного опору і тому не дає помітного ефекту. Більше того, потік води, що утворюється в районі тунелю НПП, значно знижує його корисний ефект. Особливості рушіїв та СЕУ більшості суден класу ULCC полягають в тому, що мінімальна кількість обертів гвинта на самому малому ході, в середньому, сягає 25 об/хв., що при величезних розмірах рушія відповідає швидкості 5 вузлів. Звідси слідує, що на таких суднах для ефективного використання НПП, в першу чергу, потрібно зменшити швидкість до 5 вузлів і менше. Якщо тунель НПП недостатньо занурений (таке дуже часто буває, на порожніх суднах контейнеровозах в баласті), то судноводію не слід покладатись на пристрій взагалі і розраховувати повороти без нього.

Окрім високої швидкості та великої парусності, судна контейнеровози відрізняються від інших суден ще й гіршими маневреними якостями. На прикладі того ж Milano Bridge під управлінням капітана з 25-річним досвідом та не менш досвідченим лоцманом - не було враховано той факт, що гребний гвинт був занурений лише на 68%, так само, як і перо керма (рис. 1). Звідси випливає, що тиск води на перо керма був набагато меншим через менший потік води, що набігає на перо керма, ніж при повному зануренні гвинта та явища кавітації. До того ж, корисна площа самого пера керма також менша на 32% ніж при повному зануренні. Такі обставини зменшують ефективність пера керма на ті ж самі 30%. Окрім цього, запас глибини під кілем також значно відрізняється від того, який був на полігоні при визначенні діаметру циркуляції. Обертальний момент, створюваний пером керма залежить від швидкості потоку, що набігає на перо [7]. Збільшення швидкості попутного потоку при виході судна на мілководдя знижує швидкість потоку, що набігає на перо, і, як наслідок, ще більше знижує ефективність рульового пристрою. За таких умов, діаметр тактичної циркуляції судна суттєво збільшується і не відповідає діаметру вказаному в таблиці циркуляції, яка вимірювалась під час ходових випробуваннях судна в баласті. Також існує накопичений, діючий момент інерції, що збігається з курсом судна на прямому ході. При поворотах великих суден контейнеровозів, особливо різких, вектор дії сили може

відрізнятися від курсу судна до 30-40°, що викликає дрейф судна в протилежний бік повороту [8].

Аби не допускати типових АМП при виконанні маневрів, судноводії великогабаритних суден контейнеровозів мають вчасно робити дві речі:

- визначити точну траєкторію руху судна після виконання перекидки керма і зміни швидкості при даних умовах завантаження та конструктивних особливостей судна;
- виконання постійного контролю руху судна запланованою траєкторією.

Основна проблема полягає в тому, що судноводій не має інструменту, за допомогою якого він міг би визначити на якій траєкторії буде судно при виході на новий курс при заданому куті перекидки керма в умовах відмінних від тих, які були при мірних випробуваннях на полігоні. Інформація про маневрені елементи, згідно з Резолюцією ІМО А.601(15), яка представлена в більшості випадків циркуляцією на глибокій воді при повному завантаженні, і без вантажу лише при заповненні 100% баластних цистерн. Як правило, цими параметрами поворотності судна, визначеними на глибокій воді, за відсутності інших, і користуються при розрахунку точки перекидки керма і радіусу циркуляції. Такий спрощений підхід до обліку параметрів циркуляції, який не враховує глибини під кілем та занурення гребного гвинта з кермом, і є однією з найбільших помилок судноводіїв при плануванні маневрів, що за відсутності обліку інших чинників і призводить до АМП. Циркуляція характеризується лінійною та кутовою швидкостями, радіусом кривизни та кутом дрейфу. Радіус циркуляції на мілководді, що залежить від співвідношення осадки і глибини моря, можна оцінити за формулою А. Гофмана (1).

$$R_{уст}^M = \frac{R_{уст}}{1 + 0,1d/H - 0,71(d/H)^2}, \quad (1)$$

де $R_{уст}^M$ – радіус циркуляції на мілководді;

$R_{уст}$ – радіус циркуляції на глибині;

d – осадка судна;

H – глибина моря.

Наведена формула є приблизною і не враховує ні кут перекидки керма, ні занурення гребного гвинта. Тому її використання не може забезпечити бажану точність для розрахунку радіусу циркуляції. Натомість, доречно використовувати універсальні методи з розрахунку 2-х основних параметрів циркуляції, розроблені Драчовим В.М.. Це метод розрахунку точки перекидки керма і метод побудови дотичних до кривих циркуляції.

Метод визначення точки перекидки керма полягає у розрахунку попередження на мілководді, що розраховується за формулою (2) за допомогою розрахованого середнього коефіцієнта K , універсального для всіх типів суден.

$$S_M = S_{ГЛ} \cdot K = S_{ГЛ} \cdot [1 + (d/H_M) - 0,2], \quad (2)$$

де: S_M – попередження на мілководді, м;

$S_{ГЛ}$ – попередження на глибокій воді, м;

d – осадка судна, м;

H_M – глибина мілководдя від поверхні води, м.

При плаванні великогабаритних суден контейнеровозів в обмежених, мілководних умовах доцільно використовувати спосіб розрахунку повороту судна з використанням дотичних до кривих циркуляції (метод дотичних) [9].

Для полегшення та пришвидшення оцінки безпеки виконання маневру, можливо вивести критерій безпечного виконання маневру великогабаритних суден контейнеровозів за складних навігаційних та гідрометеорологічних умов та виразити його через функцію $(F(T))$ сукупності параметрів (Y) (3): Створена модель буде покликана встановити алгоритмічну залежність вихідного ефекту запропонованої моделі, що визначається цільовою функцією $(F(T))$ та її показниками ефективності (α) від сукупності параметрів (Y) (4).

$$Y \in Z = \{F(T), \alpha \in G\}, \quad (3)$$

$$X = X(\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \bar{Y}_4, \bar{Y}_5, \bar{Y}_6, \bar{Y}_7, \bar{Y}_8, \bar{Y}_9, \bar{Y}_{10}, \bar{Y}_{11}) \quad (4)$$

де:

\bar{Y}_1 – основні техніко-експлуатаційні характеристики судна;

\bar{Y}_2 – інерційно-гальмівні параметри судна;

\bar{Y}_3 – параметри стійкості судна на циркуляції;

\bar{Y}_4 – параметри повороткості судна;

\bar{Y}_5 – параметри вітрильності судна;

\bar{Y}_6 – параметри гідрологічної обстановки;

\bar{Y}_7 – параметри гідрометеорологічних умов;

\bar{Y}_8 – параметри зносу судна із запланованої траєкторії циркуляції під впливом накопиченого чинного моменту інерції;

\bar{Y}_9 – параметри ефективності пера керма та рушія;

\bar{Y}_{10} – параметри ефективності НПП;

\bar{Y}_{11} – параметри ефективності буксирів;

Оцінивши маневр за критерієм безпеки, та знаючи точну траєкторію руху судна після перекладки керма, судоводію залишається контролювати виконання маневру. Помітити небезпеку на ранній стадії допомогло б знання швидкості зміни дистанції від кінцівок судна до перепони. Для найкращої точності контролю швидкості зміни дистанції від носу до причалу, та корми до причалу було б доцільно використання координатного курсору ECDIS в якості високоточного кутомірно-далекомірного пристрою. Спосіб високоточного вимірювання пеленгів та дистанцій за допомогою координатного курсору, який має функцію автоматичного захоплення навігаційних об'єктів, координати яких внесені в електронну базу даних ЕКНІС і автоматичного стеження за ними, дозволяє вимірювати відстані з точністю СКП визначення місця судна в диференціальному режимі ГНСС і точністю нанесення навігаційних орієнтирів на навігаційні карти [10]. Найголовнішою перевагою високоточного вимірювання пеленгів та дистанцій за допомогою координатного курсору є те, що завдяки ньому можна з точністю до 3,5м. швидко визначити параметри циркуляції судна та траєкторії руху носа та корми в даний момент часу.



Рисунок .2 – Узагальнений алгоритм роботи суднового містка суден контейнеровозів при експлуатації в складних навігаційних та гідрометеорологічних умовах.

Нарешті, з урахуванням вищесказаного доцільно розробити алгоритм роботи суднового містка суден контейнеровозів при експлуатації в складних навігаційних та гідрометеорологічних умовах, підходах до причалу, русі по фарватеру, тощо, узагальнений варіант якого матиме такий вигляд:

Висновки. Методи навігації та управління великогабаритними суднами контейнеровозами мають свої особливості, які суттєво відрізняються від інших типів суден. Завдяки конструктивним особливостям, великогабаритні контейнеровози мають велику вітрильність, високу мінімальну швидкість та відносно неефективні НПП. Зважаючи на те, що більшість АМП таких суден відбуваються під час маневрування, то розрахунок та контроль виконання маневру відіграють найважливішу роль в здійсненні безпечної навігації та управління суден.

Загальну оцінку безпеки виконання маневру можна здійснити, за так званим критерієм безпеки, який залежить від низки важливих параметрів, які безпосередньо впливають на керованість суден контейнеровозів. Визначення параметрів гідрометеорологічних умов, параметрів ефективності пера керма та рушія, параметрів ефективності НПП потребують проведення окремих досліджень.

Застосування запропонованого алгоритму роботи навігаційного містка великогабаритних суден контейнеровозів з використанням, для контролю виконання маневру судна, координатного курсору ECDIS в якості високоточного кутомірно-далекомірного пристрою, як і розробка самого методу, потребує подальшого дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Taylor & Francis Group. 30th edition of Lloyd's Maritime Atlas // 2019, С. 11.
2. Korea Maritime Safety Tribunal. Marine Safety Investigation Report on Milano Bridge MSI Report 2021-001 //, 2021, С. 6-78.
3. United Arab Insurance Federation. Insurance Report on Ever Given grounding in Suez Canal //, 2021, С. 3-8.
4. Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation. Investigation Report 34/16 //, 2016.
5. Давидов В.С., Доронін В.В., Спіян О.М., Алейніков М.В. Комплексний підхід до забезпечення навігаційної безпеки плавання великогабаритних контейнеровозів на циркуляції в мілководних районах. ДУІТ. Збірник наукових праць «Водний транспорт», вип. 3(34)-2021, С.5-12.
6. Сизов В.Г. Теория корабля [текст]: учебн. пособие / В.Г. Сизов. –Одесса: Феникс, 2003. – 57 с.
7. Мальцев А.С. Теория и практика безопасного управления судном при маневрировании [текст] / А.С. Мальцев. – Дис. докт. техн. наук.:05:22:16 – судовождение. – О.: 2007– 215 с.
8. Сергиенко В. В. ловушке аварийности. Морские вести №12-2020. [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: <http://www.morvesti.ru>.
9. Драчев В.Н. Учет циркуляции при плавании в стесненных районах. Монография. [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу:<http://www.window.edu.ru>>catalog, 107с.
10. Давидов В.С., Овчинникова А.І. Спосіб контролю місце розташування великогабаритних суден і складів на траєкторії руху шляхом використання координатного курсора ЕКНІС в режимі високоточного кутомірно-далекомірного пристрою. ХДМА. Збірник наукових праць «Науковий вісник», вип.№1(18)- 2018, С.4-9.

REFERENCES

1. Taylor & Francis Group. 30th edition of Lloyd's Maritime Atlas // 2019, С. 11.
2. Korea Maritime Safety Tribunal. Marine Safety Investigation Report on Milano Bridge MSI Report 2021-001 //, 2021, p. 6-78.
3. United Arab Insurance Federation. Insurance Report on Ever Given grounding in Suez Canal //, 2021, p. 3-8.
4. Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation. Investigation Report 34/16 //, 2016.
5. Davydov V.S., Doronin V.V., Spiyan O.M., Aleinikov M.V. A comprehensive approach to ensuring the navigational safety of the navigation of large-sized container ships during turning circle in shallow water areas. SUIT. Collection of scientific works "Vodnyi Transport", vol. 3(34)-2021, p.5-12.
6. Sizov V.G. Theory of a ship [text]: manual / V.G. Sizov. –Odesa: Fenix, 2003. – 57 p.

7. Maltsev A.S.. Theory and practice of safe ship control during maneuvering [text] / A.S. Maltsev. – Dissertation.:05:22:16 – Navigation. – O.: 2007– 215 p.
8. Sergiienko V. V. In the emergency trap. Morskiie vesti №12-2020. [electronic resource].– Access: <http://www.morvesti.ru>.
9. Drachev V.N. Taking into account of turning circle during sailing in constrained areas [electronic resource].– Access: <http://www.window.edu.ru>catalog>, 107p.
10. Davydov V.S., Ovchinnikova A.I. A way to control the position of large vessels and warehouses on the trajectory of the path using the way of the ECDIS coordinate cursor in the mode of *goniometric-ranging device*.. HSMA. Collection of scientific works «Naukovyi Visnyk», vol.№1(18)- 2018, p.4-9.

Davydov V.S., Doronin V.V., Liubarets I.O.

Features of control and navigation of large container ships during their operation in difficult navigational and meteorological conditions

The purpose of the article is to consider the features of control and navigation of large container ships during their operation in difficult navigational and hydro-meteorological conditions. Ways to increase the safety of operation of large container ships by means of navigation and control are proposed, which should solve the problem of frequent accidents of container ships. The relatively recent most large-scale maritime accidents (MA) of container ships have been considered and analysed. The main causes of these MAs are determined, in view of which, a new algorithm for the operation of the navigation bridge of container ships is proposed, based on the use of new approaches to management and navigation. Proposals have been developed regarding the expediency of using ship control systems and bow thrusters during navigation in canals, fairways and mooring. Attention have been paid to the maneuvering of ultra large container carriers (ULCC). Due to the fact that the block coefficient of the ULCC vessel hull is relatively large, and the deviation of the force vector from the accumulated active moment of inertia because of the increased speed can reach 40° from the vessel's course, the behaviour of such vessels when sailing in difficult navigational conditions has certain features. It requires the use of fundamentally new means of navigation and control from the shipmasters, taking into account the design features of such vessels. In addition, container ships have great wind area, compared to vessels of other types. Moreover, wind area reaches high values, both when fully loaded and in the ballast condition, which is a distinctive feature of container ships. It is proposed to use a mathematical model with the help of which the safety criterion is determined when sailing large-sized container ships in difficult navigational and hydro-meteorological conditions, which depends on the stability of the vessel on turning circle, wind area, hydro-meteorological conditions, etc., which allow maintaining the controll of such vessels to keep them on the vessel's course.

Key words: *safety of navigation, control and navigation, algorithm, goniometric-ranging device, motion trajectory, container ship, safety criterion.*