

УДК 656.61.052.484

DOI: 10.31653/2306-5761.29.2020.108-115

## DETERMINATION OF A GROUP OF DANGEROUSLY APPROACHING VESSELS

## ВИЗНАЧЕННЯ ГРУПИ СУДЕН ПРИ НЕБЕЗПЕЧНОМУ ЗБЛИЖЕННІ

**I.O. Burmaka**, *DSc, associate professor*, **I.I. Vorokhobin**, *DSc, associate professor*,  
**O.V. Yanchetskyu**, *PhD student*

**I.O. Бурмака**, *д.т.н, доцент*, **I.I. Ворохобін**, *к.т.н, доцент*,  
**O.V. Янчецький**, *аспірант*

*National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine*  
*Національний університет «Одеська морська академія», Україна*

### ABSTRACT

*As stated in the article, ensuring the safety of navigation is one of the most important problems of accident-free navigation. Confined waters are characterized by navigational obstructions and heavy traffic, which create preconditions for emergencies.*

*One of the features of navigation in confined waters is the occurrence of situations of dangerous convergence of several targets, which requires the development of methods to ensure safe separation of ships in such situations. Therefore, the development of methods for controlling ships in situations of dangerous convergence, to which this article is devoted, is an urgent and promising scientific direction.*

*The article provides an analysis of the latest achievements and publications, in which the solution of this problem has been started and previously unresolved parts of the general problem are highlighted. It is shown that to prevent collisions, a method of flexible divergence strategies has been developed, which, with locally independent control of the divergence process, allows choosing the optimal divergence strategy for a ship with several dangerous targets, taking into account significant factors. The formalization of the COLREG-72 is also proposed and the interaction of ships in a situation of dangerous approach in the event of a collision threat is considered. Prevention of collision of ships by the method of displacement to a parallel track line is considered and a method of divergence of a ship with two dangerous targets by successive evasions from each of them is proposed.*

*The article shows the feasibility of developing an analytical system that uses the principle of external control of the discrepancy process and does not require the use of a VTS. Such a system can be implemented on the basis of ARPA and is located on each of the vessels, and from ARPA and AIS receive information about the surrounding vessels and the parameters of their movement. It is shown that the proposed analytical system should solve two sequential tasks. The first task is to form a group of dangerously approaching vessels in areas of intensive navigation, and the second is to automatically select a joint strategy for the divergence of a group of vessels by changing the movement parameters by methods of external control of the divergence process. The article discusses in detail the first task - the formation of a group of interacting ships in the event of a dangerous approach situation.*

*Three conditions are formulated that make it possible to include a vessel in a group of interacting vessels from the initial group, which are as follows: the vessels must approach each other, the situation of their convergence is dangerous, and the relative position of the vessels allows the use of a divergence maneuver by changing the course. Analytical expressions are obtained for each of the conditions and the procedure for the exchange of information for the formation of a group is given.*

**Keywords:** safety of navigation, warning of collision of vessels, external process of divergence control, group of vessels.

## **Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними задачами**

Забезпечення безпеки судноводіння є однією з найважливіших проблем безаварійного мореплавання, рішення якої веде до поліпшення охорони людського життя на морі і до зменшення шкоди навколишньому середовищу.

Обмежені райони характеризуються навігаційними перешкодами і інтенсивним судноплаством, які створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Саме в обмежених районах виникають понад 80% всіх навігаційних аварій, чим підтверджується велика складність плавання в обмежених водах.

Однією з особливостей плавання в обмежених районах є виникнення ситуацій небезпечного зближення кількох цілей, що вимагає розробки методів забезпечення безпечного розходження суден в таких ситуаціях.

Тому розробка способів управління для суден в ситуаціях небезпечного зближення, чому присвячена дана стаття, є актуальним і перспективним науковим напрямком.

## **Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано рішення даної проблеми і виділення невирішених раніше питань загальної проблеми**

Розробці методу гнучких стратегій розходження присвячена робота [1], який при локально-незалежному управлінні процесом розходження дозволяє вибрати оптимальну стратегію розходження судна з декількома небезпечними цілями з урахуванням динаміки судна, навігаційних небезпек, вимог МППЗС-72 і інших чинників, що заважають. В роботі [2] запропонована формалізація МППЗС-72 і введено поняття взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення при виникненні загрози зіткнення.

Результати дослідження ефективності парних маневрів розходження викладені в роботі [3], а в монографії [4] розглянуто попередження зіткнення суден способом зміщення на паралельну лінію шляху.

В роботі [5] запропонований спосіб розходження судна з двома небезпечними цілями послідовними відхиленнями від кожної з них. Для обраної ситуації небезпечного зближення комп'ютерною програмою були розраховані курси маневру розходження судна і момент часу їх зміни, причому відносні траєкторії розходження з'явилися дотичні до кругових доменів цілей.

Екстрена стратегія розходження суден при їх надмірному зближенні запропонована в роботі [6].

Теоретичне обґрунтування автономної судової системи ухилення від зіткнення розглядається в роботі [7], в якій вказується, що дослідження по автоматизації управління судном можуть бути представлені або класичним підходом, заснованим на математичних моделях і алгоритмах, або комп'ютерними технологіями, яка використовує штучний інтелект.

В роботі [8] представлені програми ігрових підходів в навігаційних математичних моделях безпечного управління суднами для автоматизації управління процесами переміщення суден. В роботі [9] показано, що системи судна виробляють управління процесом руху судна, який описується відповідними диференціальними рівняннями динаміки судна. До судових процесів управління відносяться: точне управління судном на маленьких швидкостях в порту; коригування швидкості судна; стабілізація судна на курсі або траєкторії; динамічна стабілізація судна при бурінні або положення танкера при вантажних операціях в морі.

В роботі [10] обговорюється метод оцінки ризику зіткнення з використанням режиму істинного руху, в ній вводяться в розгляд лінія прогнозованого зіткнення і зона перешкод по цілі для оцінки ризику зіткнення. Ці величини пов'язані з істинним рухом, і це дає можливість виявити ситуації небезпечного зближення і забезпечити безпечне плавання в обмежених водах.

### Формулювання цілей статті (постановка задачі)

Мета статті полягає в розробці процедури визначення групи суден які небезпечно зближуються в районах інтенсивного судноплавства.

### Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

В даний час, як показано в роботі [11], проводиться інтенсивна розробка методів оцінки наявності загрози зіткнення суден які зближуються і також вибору оптимального маневру їх розходження за допомогою областей неприпустимих значень параметрів руху суден. Ці методи можуть застосовуватися для локально-незалежного і повного зовнішнього управління процесом розходження суден.

Проведеними дослідженнями була розроблена оцінка ефективності основних аналітичних систем попередження зіткнень суден, які відносяться як до групи з локально-незалежним управлінням процесом розходження, так і до групи із зовнішнім управлінням процесом розходження. Аналіз показав, що найбільшу ефективність мають аналітичні системи з зовнішнім управлінням.

Однак в даний час зовнішнє управління процесом розходження може бути реалізовано тільки системою управління рухом суден (СУРС), що з економічних міркувань можливо тільки в деяких ділянках обмежених вод.

У зв'язку з цим доцільно розробити аналітичну систему, яка б використовувала принцип зовнішнього управління процесом розходження і не вимагала використання СУРС. Така система може бути реалізована на базі ЗАРП і знаходиться на кожному із суден, причому з ЗАРП і АІС отримувати інформацію про оточуючих суднах і параметрах їх руху.

На базі отриманої інформації запропонованої аналітичній системі слід вирішувати дві послідовні задачі. У першій задачі в умовах інтенсивного судноплавства сформуванню групи суден, які небезпечно зближуються, а на другій за допомогою методів зовнішнього управління процесом розходження автоматично вибрати спільну стратегію розходження зміною параметрів руху і виділити індивідуальний маневр розходження кожного із суден.

У цій статті розглянемо першу задачу - формування групи взаємодіючих суден при виникненні ситуації небезпечного зближення.

Припустимо, в обмеженому районі судноплавства знаходиться деякий безліч суден  $Mn_0$ , з якого необхідно сформуванню групи взаємодіючих суден  $\Sigma_{ns}$ , яка в момент часу спостереження  $t_n$ , зберігається протягом інтервалу часу  $\Delta t_n$ , а в черговий момент часу спостереження  $t_n + \Delta t_n$  здійснюється контроль структури групи суден  $\Sigma_{ns}$ .

Алгоритм виділення групи суден  $\Sigma_{ns}$  полягає в наступному. Суднова інформаційна система в якості першого судна  $C_1$  формованої групи взаємодії  $\Sigma_{ns}$ , вибирає базове судно, на якому вона встановлена, а наступні судна включаються в початкову групу з таких міркувань.

Враховуються дві умови зупинки включення суден вихідного безлічі  $Mn_0$  в початкову групу суден  $\Sigma_0$ . Згідно першої умови, якщо дистанція до судна  $L_i$  перевершує задану граничну дистанцію  $L_{max}$ , і по другій умові, якщо інтервал часу до початку взаємодії з  $i$ -м судном  $\Delta t_{bi}$  судном перевершує глибину прогнозу  $\Delta t_n$ .

В області радіусом  $L_{max}$  суднова інформаційна система визначає небезпеку зближення з кожним з навколишніх суден. Якщо виконується умова  $\Delta t_n > \Delta t_{bi}$ , то судно включається в початкову групу суден  $\Sigma_0$ . Формування початкової групи триває до тих пір, поки не

вступить в силу обмеження по максимальній дистанції  $L_{\max}$ . Таким чином виявляється початкова група суден, з якими можлива взаємодія судна  $C_1$ .

Очевидно, в групу взаємодіючих суден  $\Sigma_{ns}$  з початковою групи  $\Sigma_0$  слід включити тільки ті судна  $C_i$ , для яких виконуються три умови:

- судно  $C_i$  зближується з базовим судном  $C_1$ ;
- ситуація зближення судна  $C_i$  і базового судна  $C_1$  є небезпечною;
- відносна позиція суден  $C_i$  і  $C_1$  дозволяє використовувати маневр розходження зміною курсу.

Кожне з суден  $C_i$  характеризується параметрами істинного руху швидкістю  $V_i$  і курсом  $K_i$ , а також позицією щодо судна  $C_1$ , що оперує, задається пеленгом  $\alpha_i$  і дистанцією  $D_i$ .

Перша умова зближення полягає в зменшенні дистанції  $D_i$  між суднами, тобто,  $\dot{D}_i < 0$ . Висловимо ці умови через параметри ситуації, тобто, параметри відносної позиції суден параметри їх руху. В роботі [11] отримано вираз для  $\dot{D}_i$ , яке має наступний вигляд:

$$\dot{D}_i = V_i \cos(K_i - \alpha_i) - V_1 \cos(K_1 - \alpha_i).$$

Тому дана умова виражається в такий спосіб:

$$[V_i \cos(K_i - \alpha_i) - V_1 \cos(K_1 - \alpha_i)] < 0.$$

Друга умова небезпечного зближення суден полягає в тому, що прогнозована дистанція найкоротшого зближення  $D_{\min i}$  менше гранично-допустимої дистанції зближення  $D_d$ , чому відповідає нерівність  $D_{\min i} < D_d$ .

У тій же роботі [11] наведено вираз для  $D_{\min i}$ :

$$D_{\min i} = |D_i \sin(K_{oti} - \alpha_i)|,$$

причому

$$K_{oti} = \begin{cases} \psi, & \text{при } V_{otx} > 0, V_{oty} > 0, \\ \pi + \psi, & \text{при } V_{oty} < 0, \\ 2\pi + \psi, & \text{при } V_{otx} < 0, V_{oty} > 0 \end{cases},$$

де  $\psi = \arcsin \{ (V_1 \sin K_1 - V_i \sin K_i) / [V_1^2 + V_i^2 - 2V_1 V_i \cos(K_1 - K_i)]^{1/2} \}$ ;

$$V_{otx} = V_1 \sin K_1 - V_i \sin K_i, \quad V_{oty} = V_1 \cos K_1 - V_i \cos K_i.$$

Отже, друга умова має вигляд  $D_{\text{mini}} < D_d$ , в якому  $D_{\text{mini}}$  розраховується за допомогою наведеного вище виразу. Звертаємо увагу, що зазначені умови залежать від параметрів відносної позиції суден і параметрів їх руху.

Третя умова належності судна  $C_i$  групі взаємодіючих суден  $\Sigma_{\text{ns}}$  полягає в тому, що відносна позиція суден  $C_i$  і  $C_1$  дозволяє використовувати маневр розходження зміною курсу. Це означає, що при ухиленні суден максимальне значення дистанції найкоротшого зближення  $\max D_{\text{mini}}$  повинно бути не менше гранично-допустимої дистанції зближення  $D_d$ , чому відповідає нерівність  $\max D_{\text{mini}} \geq D_d$ .

Тим суднам, для яких виконуються перераховані умови, інформаційна система судна  $C_1$ , що оперує, передає повідомлення з пропозицією про включення їх до групи небезпечних суден, які зближуються  $\Sigma_d$ . Якщо пропозиція прийнята, то судно, що відповідає включається в групу  $\Sigma_d$ , а в іншому випадку воно ідентифікується як судно, яке заважає.

Тому вибір стратегії розходження здійснюється зміною курсів частини або всіх суден групи  $\Sigma_d$  з урахуванням суден, які заважають. Потім за отриманою стратегією розходження задіяним суднам повідомляються їх курси ухилення і час їх початку.

### Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

Таким чином, в даній статті запропонована процедура формування групи суден, які небезпечно зближуються в районах інтенсивного судноплавства. Надалі доцільно розглянути алгоритм автоматичного визначення спільної стратегії розходження суден.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н.Цымбал, И.А.Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
2. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.
3. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: «ИздатИнформ», 2008. – С. 166 – 171.
4. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
5. Пятаков Э.Н. Способ расхождения судна с двумя опасными целями последовательными уклонениями/Пятаков Э.Н., Пятаков В.Э., Петриченко О.А. // Austria - science, Issue: 16, 2018. - С. 44-49.
6. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.
7. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129-142.
8. Lisowski J. The dynamic game models of safe navigation/ Lisowski J. // Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. - 2007. - P. 23 – 30.
9. Lisowski J. Intelligent safe ship control methods in collision avoidance/ Lisowski J. // Proc.

of European Control Conference. - 2007. – P. 1-6.

10. Imazu H. Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion / Imazu H.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2017, Vol. 11, No. 1, p. 65-70.
11. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.