

Калініченко Т. В.

УРАХУВАННЯ СУДНА, ЩО ЗАВАЖАЄ, ПІД ЧАС РОЗХОДЖЕННЯ СУДНА З СУДНОМ-ЦІЛЛЮ НА МАЛИХ ВІДСТАНЯХ

У цій статті розглянуто випадок розходження свого судна з судном-ціллю за наявності ще й іншого судна, що заважає. В стиснених водах з інтенсивним судноплаством виникають ситуації, коли під час небезпечного зближення судна і судна-цілі в районі передбачуваного розходження знаходиться судно, що заважає, і яке обмежує можливості маневрування судна. Для ситуації, коли крім небезпечної цілі в районі маневрування знаходяться судно, що заважає, і при цьому звичайно навігаційна небезпека, запропоновано процедуру вибору безпечного курсу ухилення свого судна від судна-цілі. Отримано аналітичні вирази для вибору безпечного курсу ухилення від судна-цілі в обох випадках.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, урахування судна, що заважає

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки судноводіння у стиснених водах є однією з найактуальніших проблем суднопластва, причому особливо актуальними є питання запобігання зіткненню суден.

Найчастіше в стиснених водах з інтенсивним судноплаством виникають ситуації, коли під час небезпечного зближення судна і цілі в районі передбачуваного розходження знаходиться судно, що заважає, і яке обмежує можливості маневрування судна. Тому в таких ситуаціях вибір безпечного маневру розходження повинен враховувати судно, що заважає, чому присвячена дана публікація.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У роботі [1] вказується на необхідність формалізації взаємодії суден у ситуації небезпечного зближення, в ній також показано, що основним способом опису взаємодії пари суден, що небезпечно зближуються, є принцип бінарної координації, який використаний в МПЗЗС-72. У роботі також запропоновано їхню формалізацію. У роботах [2, 3] розглянуто питання бінарної координації та міра їхньої ефективності.

Як зазначається у роботі [4], у ситуаціях надмірного зближення суден правилами МПЗЗС-72 їхня взаємодія, згідно з правилом 17, не координується, однак, для попередження їх зіткнень запропоновані екстрені стратегії розходження, структура яких залежить не лише від особливостей ситуації зближення, а й від поведінки цілі у процесі розходження.

У роботах [5-7] розглянуто питання врахування наявних у районі подальшого розходження навігаційних перешкод. У роботі [5] запропоновано процедуру оцінки можливості розходження судна з небезпечною ціллю за наявності навігаційної перешкоди, для чого отримано умову існування множини допустимих маневрів розходження з урахуванням навігаційних небезпек. Різні типи навігаційних небезпек формалізовано в роботі [6], до яких належать точкова, лінійно розподілена і складно розподілена, а також запропоновано процедури вибору безпечного маневру розходження для кожного типу навігаційних небезпек. Аналітичну процедуру врахування навігаційних небезпек при досягненні можливого повороту судна на курс виходу у бік програмної траєкторії руху запропоновано у роботі [7]. Аналіз запропонованих процедур у зазначених роботах показав, що їх реалізація в судових навігаційних системах вимагатиме значних зусиль та витрат для апроксимації меж навігаційних небезпек.

У роботі [8] пропонується врахування навігаційних небезпек шляхом використання електронних карток, на яких відображається процес розходження.

У роботах [9–11] зазначається, що процес керування рухом судна є багатовимірним з нелінійними та нестационарними характеристиками, тому завдання вибору оптимального маневру розходження є дуже складним, причому воно носить ігровий характер. Зазначені роботи мають теоретичний характер, розглядаючи можливість опису процесу розходження суден методами диференціальних ігор.

Розуміння змісту автономної суднової системи ухилення від зіткнення CA (Collision avoidance) та її теоретичне обґрунтування викладається у роботі [12]. Спільно з алгоритмом ухилення від зіткнення розглянуто додатково Правила ухилення від зіткнення COLREG. Розглядаються вимоги до автономної навігації з урахуванням чинників, які впливають процес ухилення від зіткнення. У роботі вказується, що дослідження автоматизації керування судном можуть бути представлені в класичній або комп'ютерній категоріях. Класична техніка заснована на математичних моделях та алгоритмах. Програми ґрунтуються на використанні штучного інтелекту AI (Artificial Intelligence). Областю AI для систем автономного ухилення від зіткнення, що розглядаються у статті, є еволюційні алгоритми, логіка фуззи, експертні методи, нейромережа NN (Neural networks) та комбінація цих методів – гібридні системи (hybrid system). Маючи теоретичний напрям, робота не містить рекомендацій до практичного судноводіння.

Мета статті. Метою статті є процедура вибору маневру розходження з урахуванням судна, що заважає, під час розходження судна з ціллю на малих відстанях.

Виклад основного матеріалу. Одним з чинників, що впливає на вибір оптимального курсу ухилення за надмірного зближення суден, є наявність в районі маневрування судна, що заважає.

Припустимо, судно $V_{s_{op}}$, що оперує, ухиляється від небезпечної цілі Trg_{den} оптимальним курсом, що дорівнює пеленгу з цілі на судно, що оперує, тобто $K_{yop} = \alpha(t)$. Однак є судно V_{s_m} , що заважає, яке небезпечно зближується з судном, що оперує, під час руху останнього $V_{s_{op}}$ курсом K_{yop} , як показано на рис. 1. Як впливає із вказаного рисунка, дистанція найкоротшого зближення судна, що оперує, з судном, що заважає, менше гранично допустимого значення. Граничними відносними курсами по відношенню до судна, що заважає, є K_{yotpr} і K_{otyst} .

Як впливає з рис. 1, значення граничних відносних курсів K_{yotpr} і K_{otyst} визначаються з наступних співвідношень:

$$K_{otyst} = \alpha_o(t) + \arcsin \frac{R}{D_o(t)},$$

$$K_{yotpr} = \alpha_o(t) - \arcsin \frac{R}{D_o(t)},$$

де $\alpha_o(t)$ і $D_o(t)$ – відповідно пеленг і дистанція до судна, що заважає.

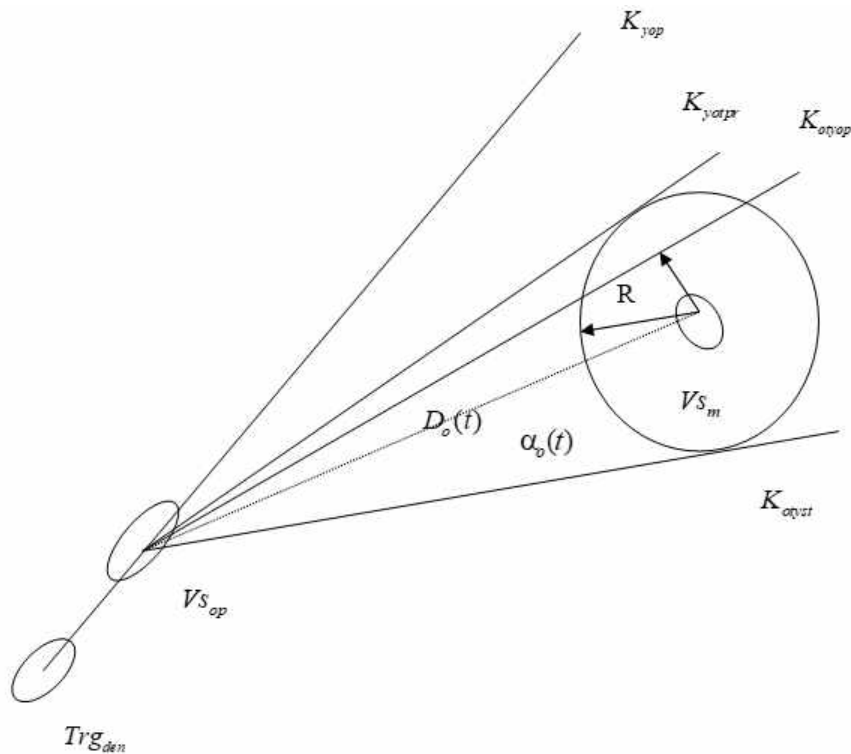


Рисунок 1 – Вибір курсу розходження за наявності судна, що заважає

Підмножина M_n істинних курсів судна, що оперує, які є неприпустимими через небезпечне зближення з судном, що заважає, визначається співвідношенням:

$$M_n = \{K_{ym}^*, K_{ym}^*\},$$

де K_{ym}^* і K_{ym}^* – верхня та нижня межі допустимих істинних курсів.

Якщо врахувати співвідношення між відносними та істинними курсами, можна отримати рівності:

$$K_{ym}^* = K_{otyst} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{otyst})],$$

$$K_{ym}^* = K_{yotpr} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{yotpr})].$$

Таким чином, допустимими курсами ухилення судна, що оперує, K_y відносно судна, що заважає, є ті, які задовольняють умову:

$$K_y \notin \{K_{ym}^*, K_{ym}^*\}.$$

Очевидно, найближче до оптимального курсу ухилення K_{yop} будуть граничні допустимі курси K_{ym}^* і K_{ym}^* . В якості курсу відхилення K_y судна, що оперує, за наявності судна, що заважає, слід вибрати гранично-допустимий курс, мінімально відмінний від значення K_{yop} . Аналітично це виявляється таким чином:

$$K_y = K_{ym}^*, \quad \text{при} \quad \left| K_{ym}^* - K_{yop} \right| < \left| K_{ym}^* - K_{yop} \right|,$$

$$K_y = K_{ym}^*, \quad \text{при} \quad \left| K_{ym}^* - K_{yop} \right| \geq \left| K_{ym}^* - K_{yop} \right|.$$

У ситуаціях, які характеризуються одночасно наявністю навігаційних небезпек і суден, вибір курсу ухилення, що мінімально відрізняється від оптимального, проводиться аналогічно. Припустимо, є лінійна розподілена небезпека і судно, що заважає (рис. 2).

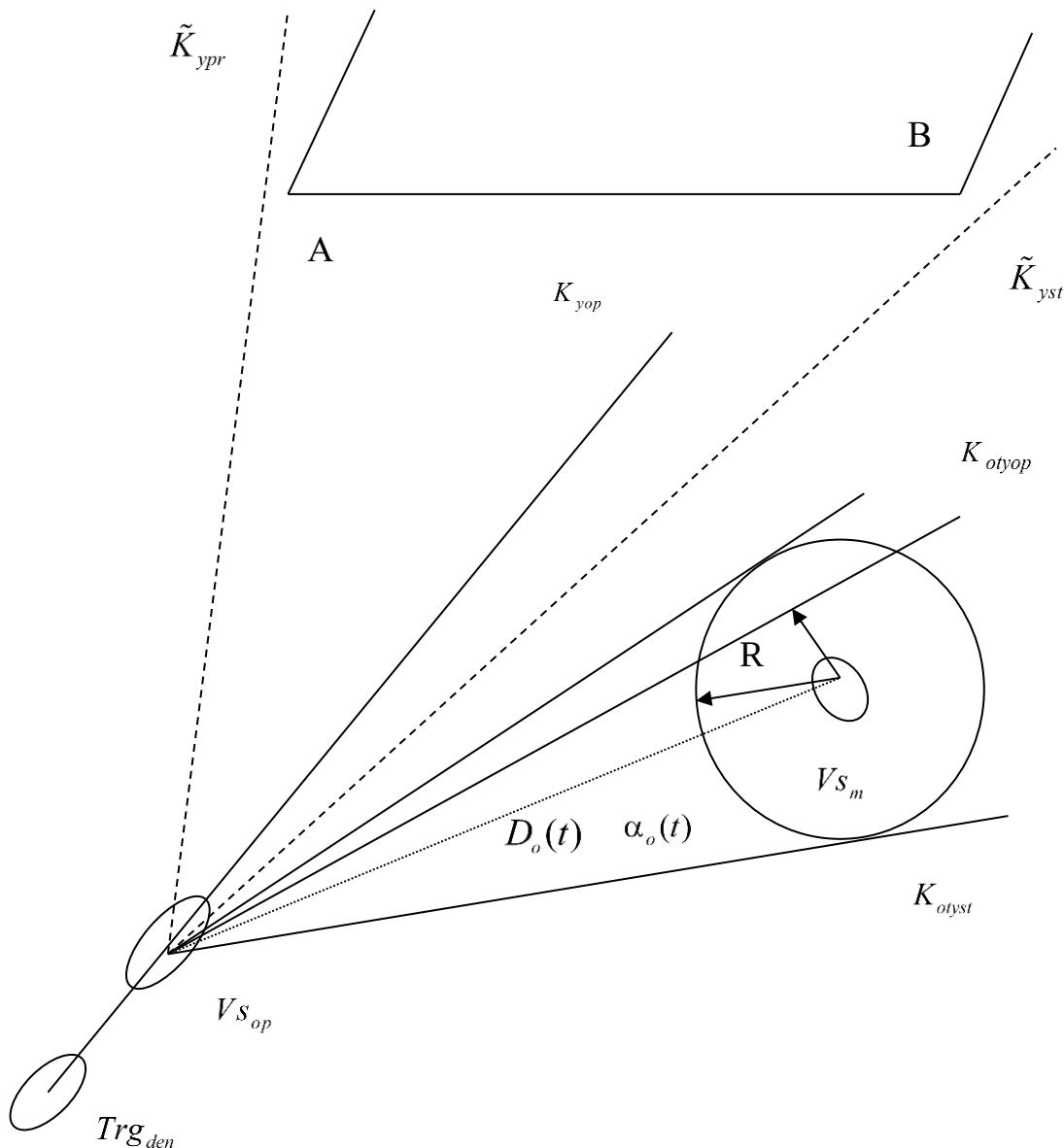


Рисунок 2 – Вибір курсу розходження за наявності судна, що заважає, та навігаційної розподіленої небезпеки

Для попередження посадки судна, що оперує, на міліну отримані граничні істинні курси $\tilde{K}_{ypr}$ і $\tilde{K}_{yst}$, які розраховуються за відомих координат точок зламу А і В (рис. 2). Для того щоб не зіткнутися з судном, що заважає, необхідно за раніше отриманими формулами

розрахувати граничні допустимі курси K_{ym}^* і K_{ym^*} . А для того, щоб безпечно розійтися з судом, що заважає, і не потрапити на міліну необхідно, щоб курс ухилення судна, що оперує K_y задовольняв наступним вимогам:

$$K_y \notin \{K_{ym^*}, K_{ym}^*\},$$

$$K_y \notin \{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}.$$

Тоді оптимальним курсом ухилення $\tilde{K}_{yop}$ є курс, який, по-перше, не належить об'єднанню підмножин $\{K_{ym^*}, K_{ym}^*\}$ і $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}$, а також, по-друге, має мінімальне відхилення від курсу K_{yop} , що дорівнює пеленгу з цілі на судно, тобто:

$$\tilde{K}_{yop} \notin (\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\} \cup \{K_{ym^*}, K_{ym}^*\}),$$

$$Abs(\tilde{K}_{yop} - K_{yop}) = \min.$$

На рис. 2 якщо підмножини курсів $\{K_{ym^*}, K_{ym}^*\}$ і $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}$ не перетинаються, тобто $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\} \cap \{K_{ym^*}, K_{ym}^*\} = \emptyset$, то оптимальним курсом $\tilde{K}_{yop}$ є граничний курс $\tilde{K}_{yst}$.

Висновки

1. Розглянуто випадок розходження судна з ціллю за наявності судна, що заважає.
2. Запропоновано процедуру вибору безпечного курсу ухилення, коли крім небезпечної цілі в районі маневрування знаходиться судно, що заважає, і навігаційна небезпека.
3. Отримано аналітичні вирази для вибору безпечного курсу ухилення в обох випадках.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пятаков Э. Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э. Н., Бужбецкий Р. Ю., Бурмака И. А., Булгаков А. Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 312 с.
2. A. Volkov. Appraisal of the Coordinability of the Vessels for Collision Avoidance Maneuvers by Course Alternation / A. Volkov, E. Pyatarov & A. Yakushev// Activites in Navigation.-Adam Weintrit/ – 2015, P. 195 – 200.
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. 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.
5. Петриченко Е. А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е. А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 – 107.
6. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
7. 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.
8. Волков А. Н. Применение судовой безопасной области для учета опасной цели и навигационного препятствия / Волков А. Н.// Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 29 – 35.

9. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71-78.

10. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3-4, Vol. XVII. – P. 133-147.

11. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.

12. 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.

REFERENCES

1. Pyatakov E. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E., Buzhbetskiy R., Burmaka I., Bulgakov A., Kherson: Grin D.S., 2015. – 312 p.

2. Volkov A. Appraisal of the Coordinability of the Vessels for Collision Avoidance Maneuvers by Course Alternation / A. Volkov, E. Pyatarov & A. Yakushev// Activities in Navigation. – Adam Weinrit/ – 2015, P. 195 – 200.

3. Pyatakov E. N. Estimation of efficiency of pair strategies of going away vessels / E. N. Pyatakov, S. I. Zaichko // Sudovozhdenie. – 2008.- №15. – P. 166 – 171.

4. Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / Burmaka I., Burmaka A., Buzhbetskiy R. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 p.

5. Petrichenko E. A. Conclusion of condition of existence of great number of possible manoeuvres of divergence taking into account navigation dangers/ E. A. Petrichenko // Sudovozhdenie. – 2003. – №6 .- p. 103 – 107.

6. Tsymbal N. Flexible strategies of divergence of vessels / N. Tsymbal, I. Burmaka, E. Tyupikov, Odessa: KP OGT, 2007. – 424 p.

7. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A. – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Saarbrücken (Germany), – 2016. – 585 p.

8. Volkov A. N. Application of ship safe region for the account of dangerous target and navigation obstacle / A. N. Volkov // Vodnyj transport. – 2014. №2 (20). – P. 29 – 35.

9. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71-78.

10. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3-4, Vol. XVII. – P. 133-147.

11. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.

12. 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.

Kalinichenko T.

TAKING INTO ACCOUNT THE INTERFERING VESSEL DURING SHIP-TO-TARGET SHIP SEPARATION AT SHORT DISTANCES

This article deals with the case of the separation of one's own vessel from the target vessel in the presence of another interfering vessel. In compressed waters with intensive shipping, situations

arise when, during a dangerous approach between a our ship and a target vessek, there is an interfering ship in the area of the expected separation, which limits the ship's maneuverability. For a situation when, in addition to a dangerous target, there is an interfering vessel in the maneuvering area, and at the same time there is usually a navigational hazard, a procedure for choosing a safe course to avoid the target vessel is proposed. Analytical expressions for choosing a safe course of evasion from the target ship in both cases are obtained.

Keywords: *safety of navigation, prevention of collision of vessels, taking into account the interfering vessel.*