

УДК 656.61.052.484

DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.26-33

**A METHOD OF ELECTRONIC CHART DEPARTMENTISATION
UNDER EXTERNAL CONTROL OF VESSELS' PASSING IN VTS AREAS**
**СПОСІБ ДЕПАРТМЕНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОННОЇ КАРТИ ПРИ
ЗОВНІШНЬОМУ УПРАВЛІННІ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН В ЗОНІ
ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ СУРС**

I.I. Vorokhobin, DSc, I.O. Burmaka, DSc, M.O. Kulakov, PhD, O.O. Petrychenko, PhD

**І.І. Ворохобін, д.т.н., доцент, І.О. Бурмака, д.т.н., доцент, М.О. Кулаков, к.т.н.,
О.О. Петриченко, к.т.н.**

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Національний університет «Одеська Морська Академія», Україна

ABSTRACT

Hazards to navigation create conditions for emergency situations, even when modern navigation devices are used. Now there are a few protocols of connection between ships, which are equipped with modern intellectual devices. Modern protocols of connection between ships are calculated by artificial intelligence. Using artificial intelligence allow seafarers achieve high level of navigation safety. Ship's remote-control needs upgrading to achieve new level of safe maneuvering. Only creating new algorithms of system checking, which are used by external operators can improve navigation safety throughout The World Ocean. Integrated method of task's complex solution is offered by using early determination of emergency factors in course of vessels' passing under external control in VTS area.

This paper is aimed at the development of a method of safe and gradual transition to autonomous shipping in the future through the use of electronic database of dangerous parameters of ship proximity through their model situational integration into modern ship information systems of electronic charts of VTS operators. Remote control of marine facilities in the future cannot go into the stage of safe implementation without the development of an algorithm for the gradual implementation of the control system by external operators. The transition to unmanned shipping requires the establishment of checkpoints to monitor the reciprocal movement of such facilities. Therefore, it is very important to ensure a safe transition period with the operation of remote control of the external operator of the ship's traffic control systems with local direct control of the ship by her crew.

The use by qualified operators of vessel traffic control systems of the method of departmentization of the electronic chart to regional orthogonal zones on the basis of areas of unacceptable convergence parameters is just one of such innovative steps in ensuring the functioning of checkpoints. In the future, this method may become a part of the main operating system of intelligent protocol of communication for remote external control of vessels.

Keywords: impermissible parameters of convergence, departmentization of electronic chart, ships' remote control, safe maneuvering.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Плавання морських суден в умовах обмеженого простору ускладнюють інтенсивне судноплавство [1-4]. Навігаційні небезпеки створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій, навіть під час використання судном сучасних навігаційних приладів [5-7]. Так за

даними Statista Reserch Department [8-10], які співпадають з даними Japan Transport Safety Board [10] та Marine Accident Investigation Branch [11] левову долю усіх суднових аварій за період 2009-2021 роки зайняли зіткнення та посадка на міліну (рис 1).



Рис. 1 Причини суднових аварій у 2009 - 2021 роках

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Останнім часом поширюється робота використання штучного інтелекту в регулюванні руху морського та річкового транспорту з передбаченням зіткнення, аналізу та попередження аварій [12]. На даний момент існують декілька видів і протоколів зв'язку між транспортними засобами, обладнаними інтелектуальними помічниками [125]. Сценарії застосування протоколів зв'язку між транспортними засобами з використанням штучного інтелекту є сучасним кроком в досягненні високого рівня безпеки судноплавства. Найбільш сучасним та ефективним є сценарій V2I (vehicle to infrastructure) [16-12]. Цей сценарій використовується при дистанційному керуванні транспортним засобом із зворотним зв'язком [12]. У морській галузі такий спосіб керування суднами відкриває широкі перспективи з дистанційного керування ними при проходженні протоки, ділянок із складною навігацією, зокрема при зовнішньому управлінні – операторами системи управління рухом суден (СУРС) [12]. Дистанційне керування значно зменшує ризик помилки, оскільки оператори СУРС сприймають ситуацію в комплексі та знають локальні умови. Впровадження такого сценарію допоможе розвантажити трафік, зменшити ризики зіткнення, знизити щільність суден з потенційним небезпечним зближенням та взагалі перейти в перспективне безпілотне судноплавство.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ціль даної роботи полягає у розробці методу безпечного та поступового переходу до автономного судноплавства у майбутньому за допомогою використання електронної бази небезпечних параметрів зближення суден шляхом їх модельної ситуативної інтеграції в сучасні суднові інформаційні системи електронних карт операторів СУРС.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Використання інтегрованого методу завчасного визначення аварійних чинників при зближенні суден при зовнішньому управлінні перш за все базується на використанні зон недопустимих параметрів руху суден, тобто при яких зближення є небезпечним або повністю веде до зіткнення [20-21]. З загальної структури небезпечного зближення морських суден отримуємо формування областей неприпустимих значень параметрів маневрів ухилення [22] та виходу судна на програмну траєкторію руху, якщо судно не змінює свою швидкість (рис. 2).

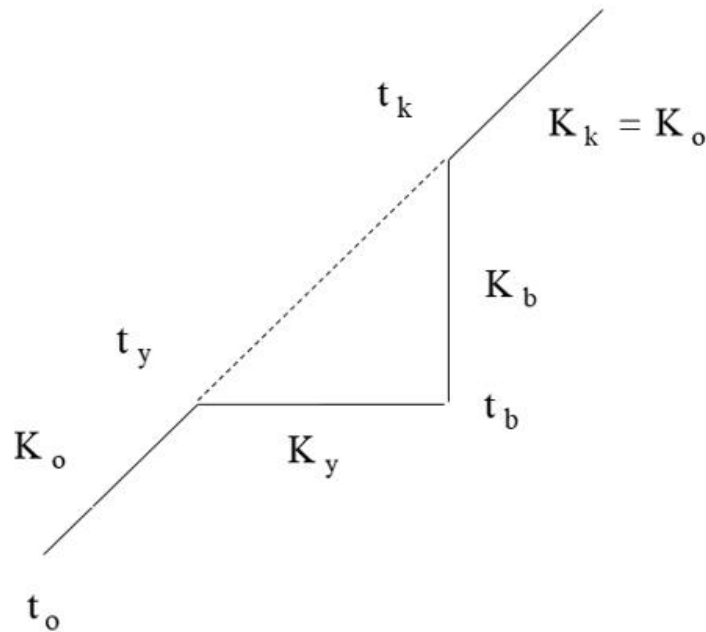


Рис. 2. Структура маневру розходження

Враховуючи можливість ухилення судна, як вправо так і вліво, доцільно знайти залежність відносного курсу K_{oty} від моменту t_y , а потім з відомої залежності отримати K_y . З отриманих значень K_{otys} та K_{otyp} та з відомої формули моменту початку ухилення судна в першому приближенні для руху суден зустрічними курсами ухилення можна отримати:

$$K_{ys} = K_{otys} + \arcsin[p^{-1} \sin(K_c - K_{otys})] \quad (1)$$

$$K_{yp} = K_{otyp} + \arcsin[p^{-1} \sin(K_c - K_{otyp})] \quad (2)$$

Вирази (1) та (2) - залежності курсів ухилення K_{ys} та K_{yp} від часу t_y можна розглядати як границі G_{ys} та G_{yp} на площині $K_y \times t_y$, яка розділяє її на дві під-області: допустимих поєднань (K_y, t_y) , для яких дистанція найкоротшого зближення D_{min} перевищує гранично - допустиму дистанцію D_d (а саме $D_{min} > D_d$) та недопустимих значень для яких $D_{min} < D_d$). Область точок (K_y, t_y) між границями G_{ys} та G_{yp} являє собою область Q_{K, t_y} недопустимих значень параметрів ухилення (K_y, t_y) (рис.3). Аналогічним чином відбувається визначення недопустимих параметрів швидкості суден [23-26].

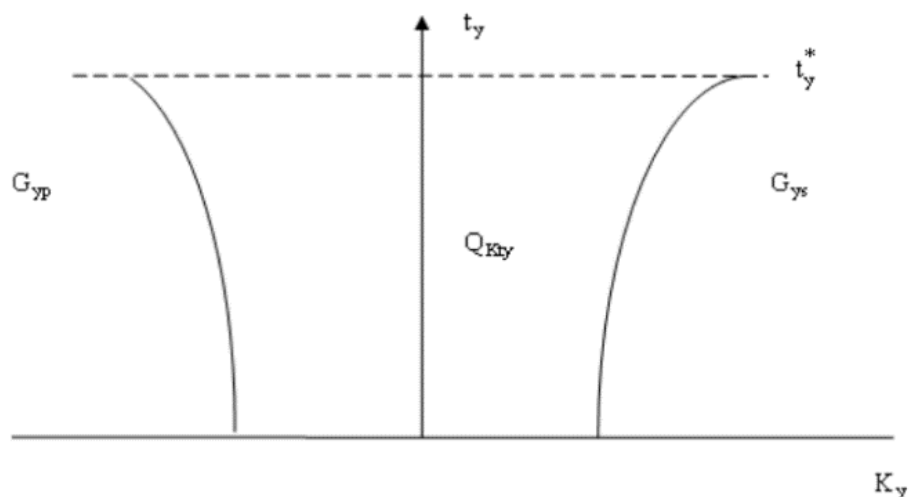


Рис.3. Область Q_{K,t_y} небезпечних значень параметрів ухилення

Принцип визначення небезпечного зближення суден за допомогою області небезпечних значень параметрів руху в автоматизованому он-лайн режимі не повинен обмежуватись парою суден – а враховувати комплексну оцінку взаємного розташування та руху усіх морських об'єктів, які входять в зону відповідального контролю певної СУРС [27-28]. На відмінну від прямого сприйняття оком оператора загальної навігаційної ситуації та локальних зближень суден на електронних картах навігаційного обладнання СУРС, коли можливі помилки типу людського фактору, впровадження наглядової та ситуативної електронної бази небезпечних параметрів зближення та системи взаємного розташування об'єктів дозволяє оперативно спрямувати увагу оператора на небезпечні регіональні зони електронної навігаційної карти, враховуючи локальні зближення. Налаштування масштабу та департаментизації електронної карти на регіональні ортогональні зони прямопорційне значенню щільності об'єктів та їх середньої взаємної швидкості зближення. Також внесення стандартів безпеки та значення можливого відхилення є обов'язковим фактором контролю зі сторони оператора СУРС. Приклад такого інтерфейсу симуляційного контролю електронної карти з встановленим кольоровим градієнтом зображення регіональних зон відповідно до ризику зіткнення, де значення 1 (червоний колір) відповідає ситуації потенційних зіткнень та 0 (зелений колір) – ситуації безпечного розходження, представлено на рисунку 4.

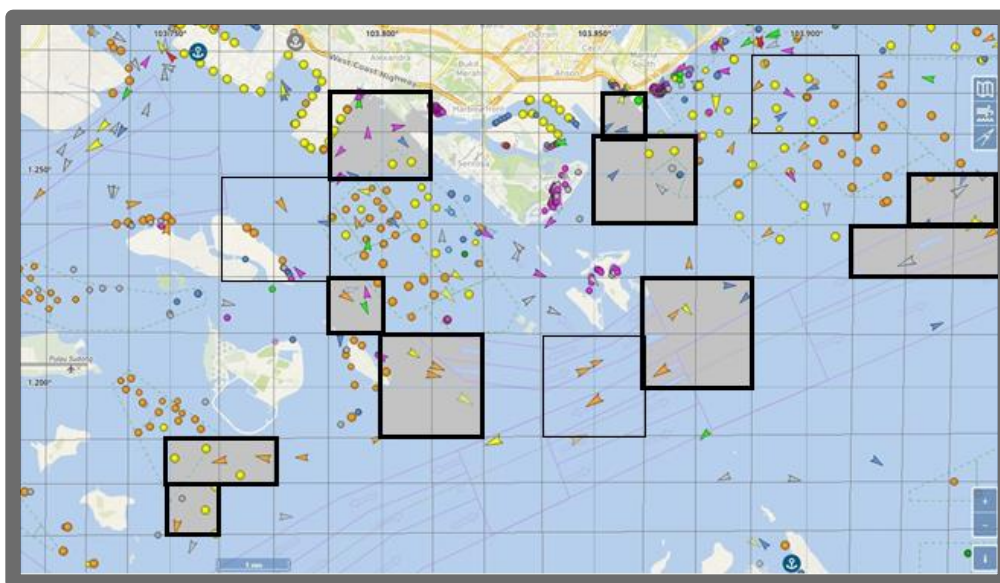


Рис. 4 – Інтерфейс екрану моніторингу електронної карти оператора СУРС з інтегрованою системою завчасного визначення небезпечних зближень морських суден

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку.

Дистанційне керування морськими об'єктами у майбутньому не може перейти у стадію безпечної реалізації без розробки алгоритму поступового впровадження системи контролю зі сторони зовнішніх операторів. Перехід до безпілотного судноплавства вимагає створення контрольних пунктів моніторингу взаємного руху таких об'єктів. Тому дуже важливо забезпечити етап безпечного перехідного періоду з функціонуванням дистанційного контролю зовнішнього оператора СУРС з локальним безпосереднім управлінням судном її командою. Для комплексного підходу вирішення цієї задачі необхідним є врахування різноманітних інноваційних технологій та підготовку людських ресурсів до рівня професійного їх висококваліфікованого використання. Використання кваліфікованими операторами СУРС методу департаментизації електронної карти на регіональні ортогональні зони на базі областей недопустимих параметрів зближення є саме одним з таких інноваційних кроків в забезпеченні функціонування контрольних пунктів моніторингу безпеки руху суден. У майбутньому даний метод може стати складовою основної частини операційної системи інтелектуального протокольного зв'язку дистанційного зовнішнього керування морськими суднами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Review of Maritime Transport. UNCTAD, 2014 – 2020. Режим доступу: <https://stats.unctad.org/handbook/MaritimeTransport/WorldSeaborneTrade.html> (переглянуто 2021-02-15)
2. The Mariners' Alerting and Reporting Scheme (MARS). Nautical Institute. Режим доступу: <http://www.nautinst.org/en/forums/mars/> (переглянуто 2021-02-15)
3. The world merchant fleet ш 2005-2014. Statistics from Equasis. Режим доступу: <http://www.equasis.org> (переглянуто 2021-01-23)
4. Transportation Safety Board of Canada. Режим доступу: <http://www.tsb.gc.ca/eng/stats/marine/> (переглянуто 2021-06-13)
5. EMSA. Annual overview of marine casualties and incidents 2009-2019. Режим доступу: <http://www.emsa.europa.eu> (переглянуто 2021-04-23)
6. Allianz Global Corporate & Specialty. Safety and Shipping Review 2016. Режим доступу: <http://www.agcs.allianz.com/> (переглянуто 2021-08-10)
7. Allianz Global Corporate & Specialty. Safety and Shipping Review 2013. Режим доступу: <http://www.agcs.allianz.com/> (переглянуто 2021-06-15)
8. Australian Shipping Occurrence Statistics 2010 to 2020. Режим доступу: <https://www.atsb.gov.au/> (переглянуто 2021-10-13)
9. Statista Research Department, Ocean shipping worldwide, Deutschland – Land der Ideen, Mar 4, 2021 – P. 80-84
10. Japan Transport Safety Board. Режим доступу: <http://www.mlit.go.jp/itsb/Imarrep.html> (переглянуто 2021-05-13)
11. Marine Accident Investigation Branch. Режим доступу: <http://www.gov.uk/> (переглянуто 2021-05-13)
12. I. Burmaka. Methods of Ships' External Steering in Condition of Close Quarters Situation / О. Yanchetskyu I. Burmaka, M. Kulakov, Y. Khussein // Methods of Ships' External Steering in Condition of Close Quarters Situation. International Scientific Conference. Transport Means – LITHUANIA, Kaunas – iss.24 – 2020 – p. 753-756.
13. Kulakov M.O. Choice of optimum maneuver of divergence by the regions of impermissible values of parameters // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical

- Sciences // Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe – Budapest - iss. 27 - 2020 – p. 63-65.
14. Ворохобін І.І. Визначення групи суден при небезпечному зближенні / І.О. Бурмака, І.І. Ворохобін, О.В. Янчецький // Судноводіння: Зб. наук. праць / НУ «ОМА». Вип. 31. – Одеса: «ВидавІнформ», 2021 – С. 108 – 113, doi: 10.31653/2306-5761.29.2020.108-115
 15. Wang T.F., Yan X.P., Wang Y., Wu Q.: Ship Domain Model for Multi-ship Collision Avoidance Decision-making with COLREGs Based on Artificial Potential Field. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 11, No. 1, pp. 85-92, 2017.
 16. Imazu H.: Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 11, No. 1, pp. 65-70, 2017.
 17. Wielgosz M.: Ship Domain in Open Sea Areas and Restricted Waters: an Analysis of Influence of the Available Maneuvering Area. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 11, No. 1, 2017, pp. 99-104.
 18. Пятаков Е.Н. Розвиток теорії и методів локально-незалежного управління процесом розходження суден/ Пятаков Е.Н. - Одеса: НУ «ОМА», – 2019. - 318 с.
 19. Волков А.Н. Відображення зони безпеки судна на електронній карті // Судноводіння: Сб. наук. праць./ ОНМА, Вип. 23. – Одеса: «Ізда-Інформ», 2013. – С 40 - 45.
 20. Петриченко О.О. Спосіб оперативного визначення параметрів маневру розходження судна. / Петриченко О. О., Цимбал М.М.// *Austria - science*, Issue: 23, 2019.- S. 48 – 53.
 21. Волков Е. Л. Спосіб вибору маневру ухилення судна для безпечного розходження // Судноводіння: Сб. наук. праць./ НУ «ОМА», Вип. 28. – Одеса: «ІздатІнформ», 2017 - С.
 22. Петриченко О.А. Оперативний спосіб визначення параметрів маневру розходження судна. / Петриченко О.А. // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VI(22), Issue: 186, 2018.- С. 68-71.
 23. Омельченко Т.Ю. Взаємозв'язок форм істинної та відносної траєкторії розходження / Омельченко Т.Ю. // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, V(16), Issue: 148, 2017.- С. 82 - 85.
 24. Пятаков Е. Н. Розробка системи координації трьох суден в ситуації небезпечного зближення / Пятаков Е. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 139–141.
 25. Пасечнюк С.С. Використання графічного відображення області недопустимих значень параметрів руху суден при їх зближенні / Пасечнюк С.С.//Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): Матеріали X Міжнародної наук.-практ. конф., 29–31 травня, 2018 – Херсон: ХДМА, 2018. – С. 124–128.
 26. Алексейчук Б.М. Ідентифікація закону розподілу похибок вимірів / Алексейчук Б.М., Пасечнюк С.С. // Судноводіння: Сб. наук. праць./ ОНМА, Вип. 27. – Одеса: «ІздатІнформ», 2017 – С. 10 – 15.
 27. А.А. Кульбацький. Оцінка ризику аварійних пригод в стислих умовах / І. І. Гладких, А. А. Кульбацький, В. А. Дубовик //Матеріали науково-методичної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, 13 автоматизація», 15-16 листопада 2019 – Одеса: НУ «ОМА»,
 28. Kulbatsky A. Estimation risk of Navigation / A.Kulbatsky //«Modern engineering and innovative technologies» №6 December 2020, p. 66-75.

REFERECES

1. Review of Maritime Transport. UNCTAD, 2014 – 2020. Available at: <https://stats.unctad.org/handbook/MaritimeTransport/WorldSeaborneTrade.html> (viewed on 2021-02-15)
2. The Mariners' Alerting and Reporting Scheme (MARS). Nautical Institute. Available at: <http://www.nautinst.org/en/forums/mars/> (viewed on 2021-02-15)
3. The world merchant fleet ш 2005-2014. Statistics from Equasis. Available at: <http://www.equasis.org> (viewed on 2021-01-23)
4. Transportation Safety Board of Canada. Available at: <http://www.tsb.gc.ca/eng/stats/marine/> (viewed on 2021-06-13)
5. EMSA. Annual overview of marine casualties and incidents 2009-2019. Available at: <http://www.emsa.europa.eu> (viewed on 2021-04-23)
6. Allianz Global Corporate & Specialty. Safety and Shipping Review 2016. Available at: <http://www.agcs.allianz.com/> (viewed on 2021-08-10)
7. Allianz Global Corporate & Specialty. Safety and Shipping Review 2013. Available at: <http://www.agcs.allianz.com/> (viewed on 2021-06-15)
8. Australian Shipping Occurrence Statistics 2010 to 2020. Available at: <https://www.atsb.gov.au/> (viewed on 2021-10-13)
9. Statista Research Department, Ocean shipping worldwide, Deutschland – Land der Ideen, Mar 4, 2021 – P. 80-84
10. Japan Transport Safety Board. Available at: <http://www.mlit.go.jp/itsb/Imarrep.html> (viewed on 2021-05-13)
11. Marine Accident Investigation Branch. Available at: <http://www.gov.uk/> (viewed on 2021-05-13)
12. I. Burmaka. Methods of Ships' External Steering in Condition of Close Quarters Situation / O. Yanchetsky I. Burmaka, M. Kulakov, Y. Khussein // Methods of Ships' External Steering in Condition of Close Quarters Situation. International Scientific Conference. Transport Means – LITHUANIA, Kaunas – iss.24 – 2020 – p. 753-756.
13. Kulakov M.O. Choice of optimum maneuver of divergence by the regions of impermissible values of parameters // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences // Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe – Budapest - iss. 27 - 2020 – p. 63-65.
14. Vorokhobin I.I. Viznachennya grupi suden pri nebezpechnomu zblizhenni / I.O. Burmaka, I.I. Vorokhobin, O.V. Yanchetskiy // Sudnovodinnya: Zb. nauk. prats / NU «OMA». Vip. 31. – Odesa: «VidavInform», 2021 – S. 108 – 113. [in Russian]
15. Wang T.F., Yan X.P., Wang Y., Wu Q.: Ship Domain Model for Multi-ship Collision Avoidance Decision-making with COLREGs Based on Artificial Potential Field. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, pp. 85-92, 2017.
16. Imazu H.: Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, pp. 65-70, 2017.
17. Wielgosz M.: Ship Domain in Open Sea Areas and Restricted Waters: an Analysis of Influence of the Available Maneuvering Area. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 1, 2017, pp. 99-104.

18. Pyatakov E.N. Razvitie teorii i metodov lokalno-nezavisimogo upravleniya protsessom raskhozhdeniya sudov/ Pyatakov E.N. - Odessa: NU «OMA», – 2019. - 318 s. [in Russian]
19. Volkov A.N. Otobrazhenie zony bezopasnosti sudna na elektronnoy karte // Sudovozhdenie: Sb. nauchn. trudov./ ONMA, Vyp. 23. – Odessa: «Izda-tInform», 2013. – S 40 - 45. [in Russian]
20. Petruchenko O.A. Sposob operativnogo opredeleniya parametrov manevra raskhozhdeniya sudna. / Petrychenko O. A., Tsymbal N.N.// Austria - science, Issue: 23, 2019.- S. 48 – 53. [in Russian]
21. Volkov Ye. L. Sposob vybora manevra uklo-neniya sudna dlya bezopasnogo raskhozhdeniya // Sudovozhdenie: Sb. nauchn. trudov./ NU «OMA», Vyp. 28. – Odessa: «IzdatInform», 2017 - S. [in Russian]
22. Petrychenko O.A. Operativniy sposib viznachennya parametriv manevru rozkhozhdennya sudna. / Petrichenko O.A. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 186, 2018.- S. 68-71. [in Russian]
23. Omelchenko T.Yu. Vzaimosvyaz form istinnoy i otnositelnoy traektoriy raskhozhdeniya / Omelchenko T.Yu. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017.- S. 82 - 85. [in Russian]
24. Pyatakov E. N. Razrabotka sistemy koordinatsii trekh sudov v situatsii opasnogo sblizheniya / Pyatakov E. N., Kopanskiy S. V., Volkov Ye. L. // Richkoviy ta morskoy transport: infrastruktura, sudnoplavstvo, perevezennya, bezpeka: Materiali nauk.-tekh. konf., 16-17 listop. 2016 – Odesa : ONMA, 2016. – C. 139–141. [in Russian]
25. Pasechnyuk S.S. Ispolzovanie graficheskogo otobrazheniya oblasti nedopustimyykh znacheniy parametrov dvizheniya sudov pri ikh sblizhenii / Pasechnyuk S.S.//Suchasni informatsiyi ta innovatsiyi tekhnologii na transporti (MINTT-2018): Materiali X Mizhnarodnoï nauk.-prakt. konf., 29–31 travnya, 2018 – Kherson: KhDMA, 2018. – C. 124–128. [in Russian]
26. Alekseychuk B.M. Identifikatsiya zakona raspredeleniya pogreshnostey izmereniy / Alekseychuk B.M., Pasechnyuk S.S. // Sudovozhdenie: Sb. nauchn. trudov./ ONMA, Vyp. 27. – Odessa: «IzdatInform», 2017 – S. 10 – 15. [in Russian]
27. A.A. Kulbatskiy Otsenka riska avariynykh proisshestviy v stesnennykh usloviyakh / I. I. Gladkikh, A. A. Kulbatskiy, V. A. Dubovik //Materiali naukovo-metodichnoï konferentsii «Transportni tekhnologii (morskoy ta richkoviy flot): infrastruktura, sudnoplavstvo, perevezennya, 13 avtomatizatsiya», 15-16 listopada 2019 – Odessa: NU «OMA», [in Russian]
28. Kulbatsky A. Estimation risk of Navigation / A.Kulbatsky //«Modern engineering and innovative technologies» №6 December 2020, r. 66-75.