

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ"

Волков Євген Леонідович



УДК 656.61.052

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ЛОКАЛЬНО-НЕЗАЛЕЖНОГО
УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН
ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАСТЕЙ НЕПРИПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ
ПАРАМЕТРІВ**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті "Одеська морська академія" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Цимбал Микола Миколайович,
Національний університет «Одеська морська академія», декан судноводійного факультету;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Блинцов Владимир Степанович,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, проректор з наукової роботи;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Тихонов Ілля Валентинович,
Державний університет інфраструктури та технологій, доцент кафедри навігації та управління суден.

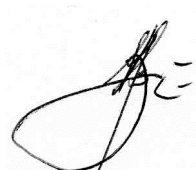
Захист відбудеться 17 травня 2018 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті "Одеська морська академія" за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету "Одеська морська академія" за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 2 та за електронною адресою:

<http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>

Автореферат розісланий 12 квітня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01
доктор технічних наук, професор



В.В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема забезпечення безпеки судноводіння являється однією з найважливіших, - від її успішного рішення залежить зменшення кількості аварійних випадків і, як наслідок, зниження шкоди людському життю, навколишньому середовищу, майну і виробничим процесам.

Навігаційні перешкоди та інтенсивне судноплавство значно ускладнюють плавання морських суден в стислих умовах і створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Стислі води є складними за своїх умов районами плавання, в яких відбувається понад 80 % всіх навігаційних аварій, що свідчить про велику складність умов плавання та про недосконалість методів судноводіння в стислих водах.

Особливостями стислих районів плавання являється швидкоплинна зміна навігаційної ситуації, що потребує розробки оперативних та простих у використанні методів оцінки небезпеки зближення та, в разі необхідності, вибору безпечного маневру розходження. Нинішнє комп'ютерне оснащення виробничих процесів та високий рівень використання на судні інформаційних технологій потребує комп'ютерної реалізації пропонованих методів запобігання зіткнення суден. Тому розробка способів управління суднами, що небезпечно зближуються і чому присвячена дана робота, є актуальним і перспективним науковим напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), також в рамках планів наукових досліджень національного університету "Одеська морська академія" за держбюджетною темою "Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання" (№ ГР 0115U003580, 2016 р.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ, а також в рамках планів наукових досліджень Херсонської державної морської академії за держбюджетною темою "Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден військового та цивільного призначення" (№ ГР 0117U002176, 2017-го.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження являється забезпечення безпеки судноводіння вдосконаленням методів локально-незалежного управління процесом розходження суден розробкою способу використання області неприпустимих значень параметрів руху судна.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийнято допущення про існування областей неприпустимих параметрів руху судна та можливості

їх використання для підвищення коректності, оперативності і простоти визначення параметрів стратегії розходження суден при їх локально-незалежному управлінні.

Головна задача дослідження полягає в розробці алгоритмів і програми визначення стратегії розходження суден при локально-незалежному управлінні з використанням області неприпустимих значень параметрів руху судна.

Рішення головної задачі досягнуто шляхом дослідження складових задач:

- розробка способу формування області неприпустимих значень параметрів руху судна та вибору маневру розходження з небезпечною ціллю зміною курсу;
- розробка способу формування розширеної області неприпустимих значень параметрів руху судна для розходження зміною його швидкості та курсу з урахуванням режиму гальмування при зниженні швидкості;
- розробка процедури комп'ютерного відображення областей неприпустимих значень параметрів руху судна і вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження.

Об'єктом дослідження дисертації є попередження зіткнення суден.

Предметом дослідження є методи вибору оптимального маневру розходження при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден.

Методи дослідження. У дисертаційному дослідженні для пошуку рішень поставлених задач були застосовані методи:

- дедукції при аналізі основних підходів вирішення проблеми безпеки судноводіння;
- системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи і при формуванні технології наукового дослідження;
- дослідження операцій для декомпозиції головної задачі дисертації на незалежні складові задачі;
- теоретичної механіки для складання диференціальних рівнянь руху судна;
- математичного аналізу для вирішення рівнянь руху судна і пошуку залежності параметрів руху судна від керуючих впливів;
- аналітичної геометрії для формалізації області неприпустимих параметрів руху судна.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в створенні нового методу вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній програмі, і який відрізняється застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна.

У дисертаційній роботі:

- вперше розроблено спосіб вибору маневру розходження зміною курсу застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна;
- вперше запропоновано спосіб формування розширеної області неприпустимих значень параметрів руху судна;
- вперше отримана процедура комп'ютерного відображення області неприпустимих значень параметрів і вибору маневру розходження.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані на судах в процесі експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом розходження судна.

Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі ХДМА на кафедрі судноводіння та електронних навігаційних систем у розділах забезпечення безпеки маневрування судна. (акт від 27.11.2017). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі НУ «ОМА» при викладанні дисципліни «Забезпечення навігаційної безпеки плавання» (акт від 07.12.2017 р.). Матеріали дисертаційного дослідження також були використані в навчальному процесі КІВТ ДУІТ при підготовці фахівців морського та річкового транспорту при викладанні дисциплін «Теорія та практика судноводіння та управління судном», «Сучасні методи експериментальних досліджень та обробки даних в судноводінні та управління судном», «Технічні системи судноводіння», «Навігація та лоція» (акт від 14.12.2017). Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 06.12.2017 р.) та круїнговою компанією «ВіШіпс Україна» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден по напрямку «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 06.12.2017 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана дисертантом самостійно: здійснений інформаційний пошук і виконано аналіз основних підходів вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння, було обґрунтовано методологічне забезпечення дослідження, розроблений і викладений метод розрахунку параметрів маневрів розходження судна з урахуванням його інерційно - гальмівних характеристик, а також розроблені необхідні алгоритми, що дозволяють формування комп'ютерної системи вибору безпечного маневру розходження, було виконано імітаційне моделювання, впроваджені результати роботи в виробничий процес. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті положення, які належать автору особисто: координація взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення [2], процедура формалізації бінарної координації суден при взаємодії в процесі розходження [1], визначення областей взаємних обов'язків при координації трьох суден [10], процедура оцінки значення ситуаційного збурення [4], процедура визначення

приналежності судна до першої області взаємних обов'язків в разі координації взаємодії трьох суден [5], формалізація структури повної стратегії розходження судна [12], процедура формування області неприпустимих параметрів руху судна [6].

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на науково-практичних, науково-технічних і науково-методичних конференціях:

науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопаду 2016 р.), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопаду 2017 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 13 наукових праць (з них 6 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 4 наукових статей [4, 5, 6, 7,]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 5 наукових статей [1, 2, 3, 8, 9]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 4 доповіді [10, 11, 12, 13].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (144 найменувань) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 300 сторінок і містить 95 рисунків та 4 таблиці, зокрема: 199 сторінок основного тексту, 16 сторінок списку використаних джерел, 86 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** роботи наведене обґрунтування актуальності теми дисертації, визначено мету, головну задачу та допоміжні завдання дослідження, показана наукова новизна результатів і практичне значення роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз стану вирішення проблеми дослідження та огляд основних напрямків проблеми забезпечення безпеки судноводіння і вибрано напрям дисертаційного дослідження.

На базі огляду літературних джерел проведено аналіз основних напрямів вирішення проблеми зниження аварійності суден шляхом забезпечення безпеки судноводіння. Встановлено, що основними напрямками рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння є розробка методів моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, що сприяє їх більш

ефективному і безпечному плаванню, попередження зіткнень суден у прибережних районах плавання, та забезпечення точності контролю місця судна і оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

Значний внесок в рішення зазначених проблем зроблено вітчизняними та іноземними вченими, такими як: Вагущенко Л.Л., Кондрашихін В.Т., Мальцев А.С., Цимбал М.М., Фрейдзон І.Р., Lisowski J., та іншими, які показали, що центральним напрямом рішення вказаної проблеми є вдосконалення методів попередження зіткнень суден в ситуаціях їх небезпечних зближень. Тому було обґрунтовано основний напрям дисертаційного дослідження, яке присвячене розробці способу вибору безпечного маневру розходження зміною курсу або швидкості судна при локально-незалежному управлінні процесом розходження з ціллю за допомогою відповідних областей неприпустимих значень параметрів його руху. Питання по даній тематиці потребують подальших наукових досліджень.

Такий висновок дав можливість обґрунтувати основні напрями дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** за допомогою результатів першого розділу обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження та його методологічного забезпечення.

За допомогою методів системного підходу розроблено технологічну карту дисертаційного дослідження, в якій приведено технологію методичного обґрунтування коректного рішення задач, поставлених в роботі. Визначено об'єкт та предмет дослідження, сформульовані робоча гіпотеза та головна задача дослідження. Для вирішення головної наукової задачі були сформульовані три складові задачі.

У **третьому розділі** розглянута задача формалізації процесу розходження суден при незалежному управлінні.

В розділі приведена формалізація процесу судноводіння, як зміни навігаційної ситуації в часі, відображення якої проводиться за допомогою системи навігаційної інформації. З процесу судноводіння виділено процес розходження суден, що небезпечно зближуються. Запропонований принцип декомпозиції множини оточуючих судно цілей на підмножини по ступеню безпеки можливого зіткнення. Показано, що доцільно виділити вісім підмножин, три з яких містять цілі, що віддаляються від активного судна, а п'ять підмножин представляють загрозу зіткнення. Одержано аналітичні вирази для визначення приналежності цілей до розглянутих підмножин і приведений відповідний алгоритм.

Розглянуто принцип незалежного управління процесом розходження, який є основним в даний час. Необхідність в процесі розходження виникає у разі появи ситуативного збурення, яке може бути формалізоване залежно від рівня безпеки зіткнення і можливості базового судна управляти ситуацією небезпечного зближення.

Незалежне управління процесом розходження полягає в контролі кожним з суден поточного стану навігаційної ситуації і за наявності ситуативного збурення його компенсація проводиться маневрами обох суден, причому вибір маневру розходження виконується незалежно кожним з них. Для забезпечення безпеки розходження необхідна узгодженість маневрів розходження суден, тобто координація їх маневрів, яка дозволяє збільшувати дистанцію найкоротшого зближення.

При появі ситуативного збурення ω між суднами виникає взаємодія Vz , яка програмну ділянку відносного руху з ситуативним збуренням трансформує у відносну безпечну траєкторію та прогнозує поведінку суден при розходженні, формуючи адресні узгоджені стратегії G_1 і G_2 кожному із взаємодіючих суден. Формально взаємодія Vz визначається таким чином:

$$G = Vz(F),$$

де $F = (D, \alpha, V_1, K_1, V_2, K_2)$ – вектор стану системи двох суден, що зближуються, $G = (G_1, G_2)$.

Взаємодія суден Vz є відображенням параметрів стану системи двох суден S_{12} , що зближуються, в множину параметрів стратегії розходження G , яка є важливим чинником, що впливає на безпеку розходження, оскільки є механізмом узгодження по досягненню загальної мети попередження небезпечного зближення, яка визначає поведінку кожного з суден в процесі розходження і прогнозує зміну ситуації. Тому процес розходження є процесом компенсації ситуативного збурення, згідно механізму взаємодії Vz , а стратегія розходження G є алгоритмом реалізації процесу розходження.

Реалізація взаємодії Vz забезпечується за допомогою системи бінарної координації (або координатора) $c_o(Vz)$, на вхід якого подається вектор стану F , а виходом є адресні сигнали β_1 і β_2 взаємодіючим суднам c_1 і c_2 (рис. 1). У свою чергу, кожний з сигналів β_i містить координуючий сигнал γ_i і сигнал зв'язку μ_i .

Координуючі сигнали γ_i визначають кожному з суден підмножину курсів ухилення, які забезпечують узгодженість маневрів розходження, а сигнали зв'язку μ_i містять інформацію кожному судну про прогнозовану поведінку іншого.

Система бінарної координації повинна відповідати ряду обов'язкових вимог, до яких в першу чергу відноситься принцип необхідної різноманітності Ешбі, згідно якому різноманітність наявних стратегій розходження повинна відповідати різноманітності можливих ситуативних збурень. Інакше система $c_o(Vz)$ не зуміє компенсувати ситуативні збурення, створюючи передумови для зіткнень суден. У даному випадку це значить, що система $c_o(Vz)$ повинна мати в своєму розпорядженні потенційну можливість компенсації ситуативного збурення у всіх випадках виникнення стандартних ситуацій небезпечного зближення. У роботі показано, що закон

необхідної різноманітності Ешбі виконується, якщо система бінарної координації передбачає компенсацію ситуативного збурення наступними способами:

1. Сумісним маневром обох суден c_1 і c_2 .
2. Маневром судна з більшою швидкістю c_2 .

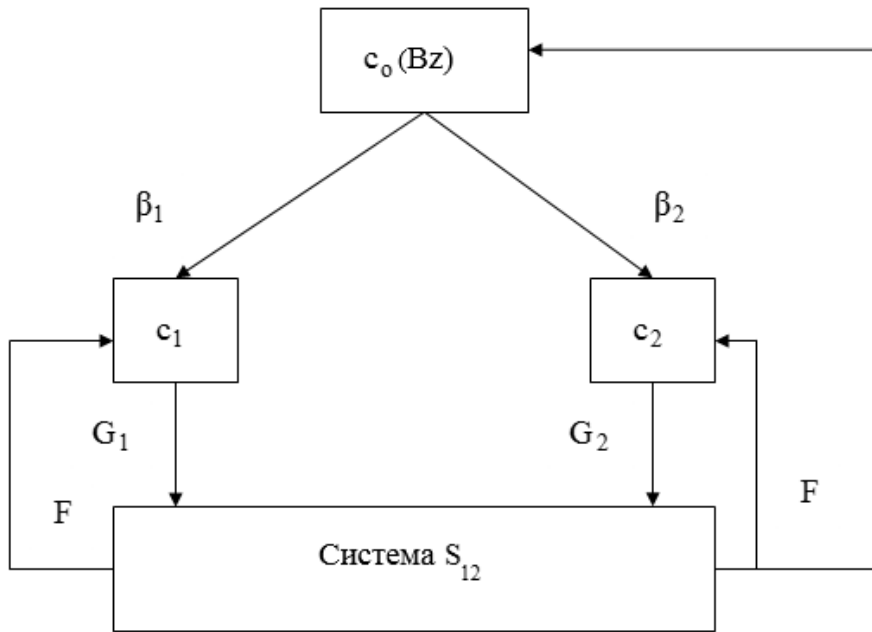


Рис. 1. Незалежне управління системою S_{12}

При першому способі компенсація ситуативного збурення здійснюється двома активними суднами. В цьому випадку необхідне узгодження маневрів розходження обох суден, тобто їх координація. Очевидно, що координація забезпечує збільшення дистанції найкоротшого зближення при виконанні маневрів розходження суден. Це відбувається, як показано на рис. 2, для суден, що зближуються, на зустрічних курсах, при зміні їх початкових курсів в одну сторону (наприклад, збільшення курсів обох суден). У разі зближення суден на попутних курсах для координації маневрів розходження необхідна зміна курсів суден в різні сторони, наприклад, судно c_1 збільшує курс, а судно c_2 - його зменшує. Звертаємо увагу, що зміна дистанції найкоротшого зближення D_{\min} визначається складовою сумарної швидкості суден, яка перпендикулярна до лінії пеленгу. Вказана швидкість збільшується, якщо складові швидкості суден мають різні знаки, чим і обґрунтовані висновки по координації маневрів розходження двох активних суден.

У другому способі компенсація ситуативного збурення проводиться одним судном, тобто маневр розходження виконується одним із суден, тоді як інше судно зберігає незмінні параметри руху. В цьому випадку не виникає необхідність в координації.

Система бінарної координації $c_0(Bz)$ повинна враховувати зближення суден з урахуванням їх статусу, причому судно з меншим статусом, як правило, перевершує по швидкості судно з більшим статусом.

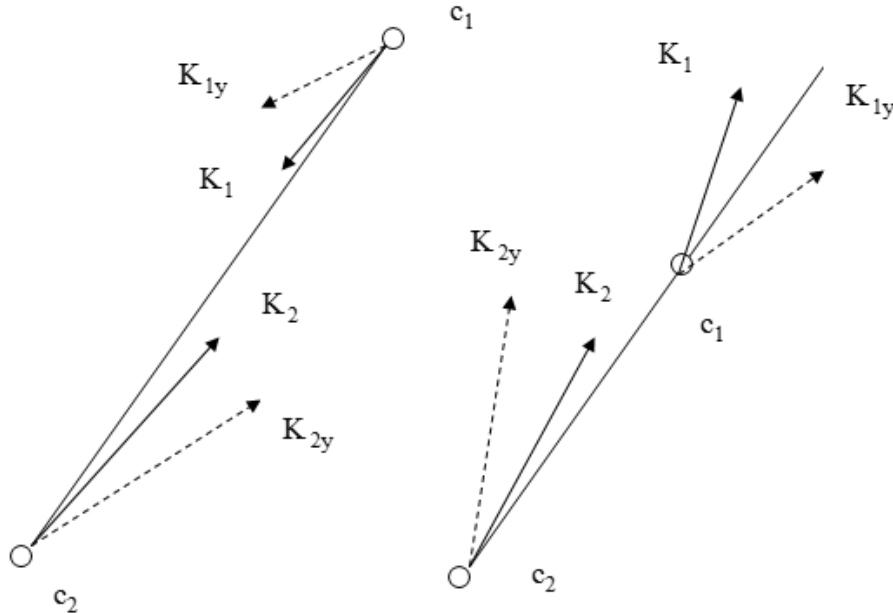


Рис. 2. Координація маневрів розходження суден

В розділі також розглянута система координації взаємодії трьох суден, актуальність розробки якої обумовлена плаванням суден в стислих водах, де ситуації небезпечного зближення трьох суден можуть виникати достатньо часто. Показано, що система координації взаємодії трьох суден повинна містити чотири області взаємних обов'язків, для кожної з яких запропоновані типи поведінки трьох суден, що небезпечно зближуються.

У пропонуваній системі координації взаємні обов'язки взаємодії трьох суден в ситуації небезпечного зближення в областях стандартного маневрування А і В визначаються за допомогою достатньо складних алгоритмів, які представлені в роботі, тому систему координації трьох суден доцільно використовувати тільки у вигляді комп'ютерної програми.

Таким чином, в розділі розглянута задача формалізації процесу розходження суден при незалежному управлінні та формування систем координації взаємодії суден.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [1, 2, 4, 5, 10, 11].

У **четвертому розділі** приведені результати розробки способу вибору маневру розходження з небезпечною ціллю зміною курсу застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна та способу формування розширеної області небезпечних значень параметрів руху судна для розходження зміною його швидкості та курсу з урахуванням режиму

гальмування при зниженні швидкості, чому присвячені друга та третя складові задачі дисертаційного дослідження.

В існуючій формалізації бінарної координації, яка реалізована в МППЗС-72, кожному правилу маневрування відповідає ситуація небезпечного зближення і запропонована процедура, що визначає умову її виникнення. Також для кожної ситуації указуються сигнали координатора для взаємодіючих суден. При зміні стану ситуації зближення міняються вимоги МППЗС-72 до взаємодії суден, що зближуються. Тому стратегія розходження базового судна повинна враховувати можливі варіанти поведінки цілі в процесі зближення. Особливо це актуально при зближенні більше двох суден за умови діючої системи бінарної координації. Тому розглянемо ситуацію небезпечного зближення базового судна (c_1) з ціллю (c_2), коли в районі передбачуваного розходження знаходиться ще одне судно (c_3). В цьому випадку матриця ситуативного збурення $W = \{\omega_{ij}\}$ має вигляд:

$$W = \begin{vmatrix} 0 & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & 0 & \omega_{23} \\ \omega_{32} & \omega_{31} & 0 \end{vmatrix},$$

у якій для даного випадку значення ситуативних збурень ω_{12} і ω_{21} не рівні нулю. Отже, між судами c_1 і c_2 виникає взаємодія, характер якої визначається бінарним координатором, реалізованому в МППСС-72, і судна роблять узгоджений маневр розходження, який компенсує ситуативне збурення, тобто забезпечує значення ситуативних збурень ω_{12} і ω_{21} рівними нулю. При цьому стратегія розходження, яка формується базовим судном, залежить від початкових значень ситуативних збурень $\omega_{13} = \omega_{31}$ і $\omega_{23} = \omega_{32}$.

В разі $\omega_{13} = 0$ та $\omega_{23} = 0$ наявність судна c_3 не викликає появу його взаємодії з базовим судном і з ціллю. У цій ситуації $G^{(1)}$ виникає тільки взаємодія Vz_{12} між базовим судном c_1 та небезпечною ціллю c_2 і координатор $Coor_{(2)}$, виходячи з відносної позиції суден і їх статусів St_1 та St_2 , адресує взаємодіючим суднам координуючі сигнали γ_{12} і γ_{21} . Ці сигнали визначають їх поведінку в процесі розходження, визначаючи кожному з них взаємні обов'язки, що дозволяє суднам вибрати стратегії розходження. При цьому одне з суден зберігає свої параметри руху, тоді як друге судно виконує маневр розходження або обидва судна виконують узгоджені маневри розходження. Тому базове судно c_1 вибирає стратегію розходження $D_1^{(1)}$, виходячи з одержаного координуючого сигналу і області взаємних обов'язків, що реалізувалася. Причому, якщо координатор визначає судну c_1 поступитися дорогою цілі c_2 ($\gamma_{12}^{(1)} = 1$), то стратегією розходження $D_1^{(1)}$ вибирається маневр ухилення $D_1(1)$. Якщо $\gamma_{12}^{(1)} = 0$, тобто судну

координатором визначено зберігати незмінні параметри руху $D_1(0)$, то судно слідує цій стратегії до моменту часу \tilde{t} , коли вимушено власним маневром попередити можливе зіткнення через бездіяльність цілі, яка не поступається дорогою. У даній ситуації $G^{(1)}$ стратегія $D_1^{(1)}$ визначається таким чином:

$$D_1^{(1)} = \begin{cases} D_1(1), & \text{если } \gamma_{12}^{(1)} = 1; \\ D_1(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(1)} = 0, D_2(1); \\ D_1(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(1)} = 0, D_2(0), t \leq \tilde{t}; \\ \tilde{D}_1(\tilde{t}), & \text{если } \gamma_{12}^{(1)} = 0, D_2(0), t > \tilde{t}. \end{cases}$$

Аналогічно знаходиться повна стратегія при інших значеннях ситуаційних збурень ω_{13} і ω_{23} .

Таким чином, після виявлення ситуативного збурення базове судно повинне визначити ситуацію $G^{(i)}$, що реалізувалася, і розрахувати параметри стратегії розходження, включаючи всі альтернативні маневри ухилення, а потім, виходячи з поведінки цілі і третього судна, виконувати відповідний варіант маневру ухилення.

Існуючі процедури оцінки небезпечності ситуації зближення судна з ціллю і вибір безпечного маневру розходження вимагають витрат часу, дефіцит якого може перешкодити вибору коректного рішення по попередженню зіткнення при плаванні судна в стислих водах. Тому для оперативного аналізу небезпеки ситуації зближення запропонована область неприпустимих параметрів руху судна і її графічне відображення, а також розроблена процедура вибору маневру безпечного розходження зміною курсу судна.

Якщо при зближенні судна з ціллю дистанція найкоротшого зближення $\min D$ менша гранично-допустимої дистанції d_d , то зближення є небезпечним. Оскільки значення $\min D$ залежить від пеленга α на ціль і дистанції D між судном і ціллю, а також від параметрів руху судна (курсу K_1 , швидкості V_1) і цілі K_2 , V_2 , то при заданих значеннях α , D , K_2 і V_2 існує множина поєднань параметрів руху судна K_1 і V_1 , при яких має місце нерівність $\min D \leq d_d$. Якщо поєднання K_1 і V_1 розглядати, як крапки (K_1, V_1) координатної площини $K_1 \times V_1$, то область Ω_d , для кожної крапки (K_1, V_1) якої виконується нерівність $\min D \leq d_d$, являється областю неприпустимих параметрів руху судна.

Очевидно, межею області Ω_d є сукупність крапок (K_1, V_1) , для кожної з яких досягається рівність $\min D = d_d$. Враховуючи, що дана рівність досягається при відносному ухиленні судна як управо, так і вліво щодо напрямку пеленга, то існує дві межі області Ω_d неприпустимих параметрів

руху судна, які як функції курсу від швидкості, при $V_1 > V_2$ аналітично виражаються для зближення на зустрічних курсах:

$$K_{11}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1}, \text{ де } V_1 \in [V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)}), V_{1\max}];$$

$$K_{11}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}, \text{ де } V_1 \in [V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)}), V_{1\max}],$$

причому $\gamma^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}$ і $\gamma^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}$.

Для ситуації зближення з параметрами: $\alpha = 128^\circ$, $D = 3,5$ милі, $K_1 = 100^\circ$, $V_1 = 22$ вузла, $K_2 = 350^\circ$, $V_2 = 17$ вузлів, $d_d = 1$ миля за допомогою комп'ютера були розраховані межі області Ω_d , яка показана на рис. 3.

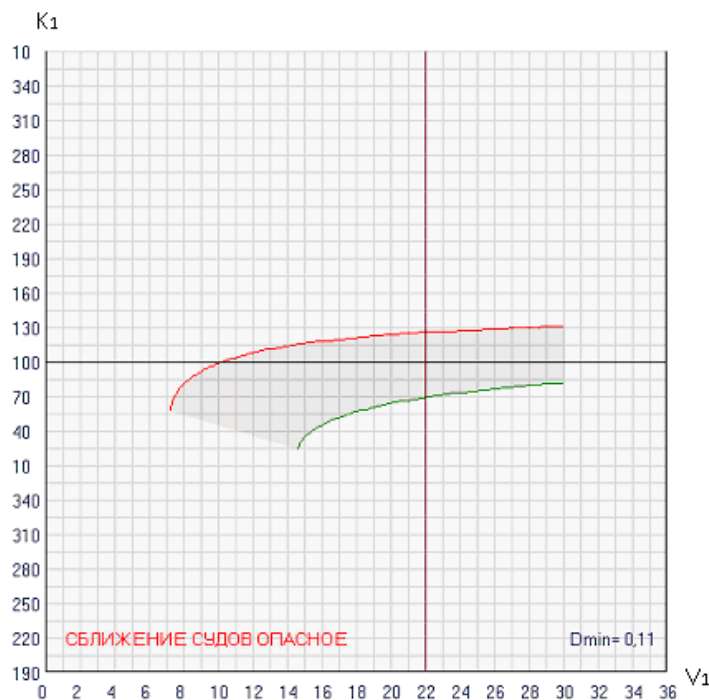


Рис. 3. Область неприпустимих параметрів руху судна Ω_d

У випадку ж $V_1 < V_2$ використання області Ω_d для вибору судном маневру ухилення від небезпечної цілі не є коректним, оскільки не всі відносні курси можуть бути досягнуті зміною курсу судна. Тому при $V_1 < V_2$ доцільно вибирати безпечний відносний курс ухилення в системі координат змінних відносного курсу K_{ot} і швидкості судна V_1 . Вибір безпечного курсу ухилення проводиться таким чином. Підмножина відносних курсів $Mn1_{ot}$, при яких зближення судна і цілі являється небезпечним, обмежена

значеннями $K_{ot*} = \gamma^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D}$ і $K_{ot}^* = \gamma^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D}$, тобто $Mn1_{ot} = [\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}]$. У свою чергу, підмножина всіх можливих відносних курсів ухилення при $V_1 < V_2$ визначається підмножиною $Mn2_{ot} = [K_{otmin}, K_{otmax}]$, причому:

$$K_{otmin} = \pi + K_2 - \arcsin \frac{V_1}{V_2} \text{ і } K_{otmax} = \pi + K_2 + \arcsin \frac{V_1}{V_2}.$$

Якщо існує підмножина відносних курсів $Mn3_{ot}$, яка одночасно задовольняє умовам $Mn3_{ot} \in Mn2_{ot}$ і $Mn3_{ot} \notin Mn1_{ot}$, то як відносний курс ухилення K_{oty} може бути вибраний будь-який відносний курс підмножини $Mn3_{ot}$, тобто $K_{oty} \in Mn3_{ot}$. По вибраному K_{oty} можна знайти відповідний істинний курс судна K_{1y} .

На рис. 4 показано графічне відображення підмножин відносних курсів $Mn1_{ot}$ і $Mn2_{ot}$ для ситуації небезпечного зближення з параметрами: $\alpha = 106^\circ$, $D = 3,0$ милі, $K_1 = 45^\circ$, $V_1 = 15$ вузла, $K_2 = 317^\circ$, $V_2 = 20$ вузлів, $d_d = 1$ миля.

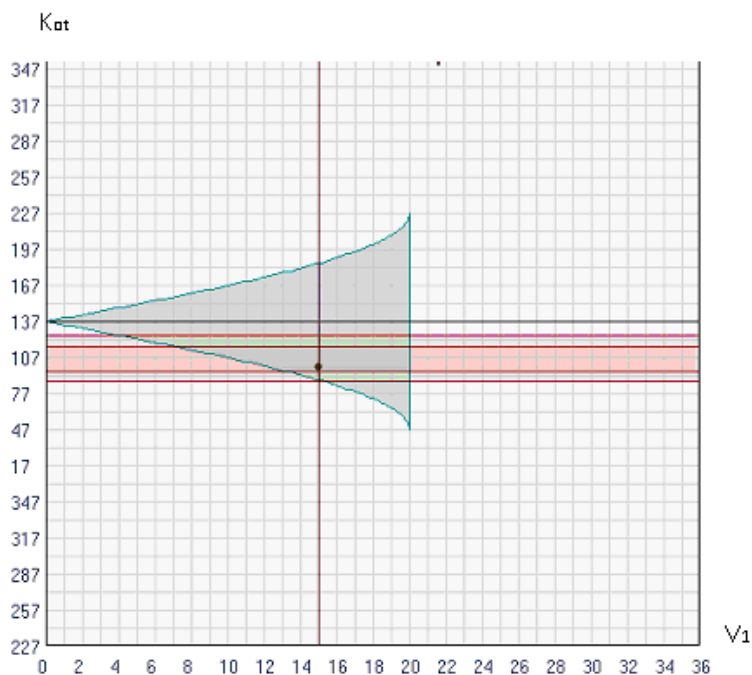


Рис. 4. Підмножини відносних курсів $Mn1_{ot}$ та $Mn2_{ot}$ при $V_1 < V_2$

В разі небезпечного зближення запропонована процедура вибору маневру розходження зміни курсу судна за допомогою області неприпустимих параметрів його руху, яка відрізняється простотою і наочністю. Для безпечного ухилення судна у разі $V_1 > V_2$ потрібно вибрати курс судна, який відповідає границі області Ω_d при швидкості, що дорівнює

швидкості судна. Якщо $V_1 < V_2$, то відносний курс ухилення судна вибирається на межі підмножини відносних курсів $Mn1_{от}$, при цьому виводиться значення відповідного істинного курсу судна.

В розділі досліджено вплив інерційності судна при повороті на безпеку розходження та запропоновано алгоритм урахування інерційності при повороті за допомогою способу послідовних наближень при допущенні постійності кутової швидкості повороту судна. При плаванні в стислих водах за наявності навігаційних небезпек передбачений спосіб їх урахування при виборі параметрів стратегії розходження базового судна. Розглянуті два типи навігаційних небезпек, до яких відносяться точкові і розподілені.

Наявність навігаційних небезпек або суден, що заважають, при небезпечному зближенні судна з ціллю в стислих водах можуть створити ситуації, при яких розходження маневром зміни курсу неможливе, що обумовлює необхідність використання маневру розходження зміною швидкості. При цьому відбувається зниження швидкості судна шляхом активного або пасивного гальмування.

В розділі розглянуто процедуру формування області Θ_{dV} для вибору безпечної зменшеної швидкості розходження активним або пасивним гальмуванням, причому одержані аналітичні вирази визначення межі області Θ_{dV} при активному гальмуванні, як залежність швидкості V_{1y} від курсу судна K_{1y} , яка розраховується методом простих ітерацій:

$$V_{1y} = \sqrt{\frac{P}{\mu}} \operatorname{tg} \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\mu}{P}} V_1 \right) - \rightarrow \right. \\ \left. - \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)mV_2 \sin K_2} \left\{ X_1(\tau) - \left[\sin(K_{отр} + \operatorname{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p}) \right] / D_p \right\} \right\},$$

$$\text{де } X_1(\tau) = S \sin K_{1y} = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{1y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right| \sin K_{1y},$$

$$D_p = \sqrt{(X_1(\tau) - X_2(\tau))^2 + (Y_1(\tau) - Y_2(\tau))^2}, \quad Y_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{1y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right| \cos K_{1y};$$

$$X_2(\tau) = D_0 \sin \alpha_0 + V_2 \sin K_2 \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1 \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{1y} \right) \right];$$

$$Y_2(\tau) = D_0 \cos \alpha_0 + V_2 \cos K_2 \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1 \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{1y} \right) \right].$$

В приведених виразах: V_1 и V_2 - початкові швидкості судна та цілі, P - упор гвинта, $(1+k)m$ - маса судна з приєднаними масами води, μ - коефіцієнт опору, D_0 , α_0 - дистанція до цілі та пеленг на неї, K_2 - курс цілі.

Для формування області Θ_{dV} і розрахунку її меж була розроблена комп'ютерна програма. Як приклад, була розглянута ситуація небезпечного зближення судна з ціллю з параметрами: $D = 2,1$ милі, $\alpha = 190^\circ$, $K_1 = 140^\circ$, $K_2 = 56^\circ$, $V_1 = 15$ вузлів, $V_2 = 20$ вузлів, $d_d = 1$ миля, для якої була розрахована область Θ_{dV} для активного гальмування, яка показана на рис. 5.

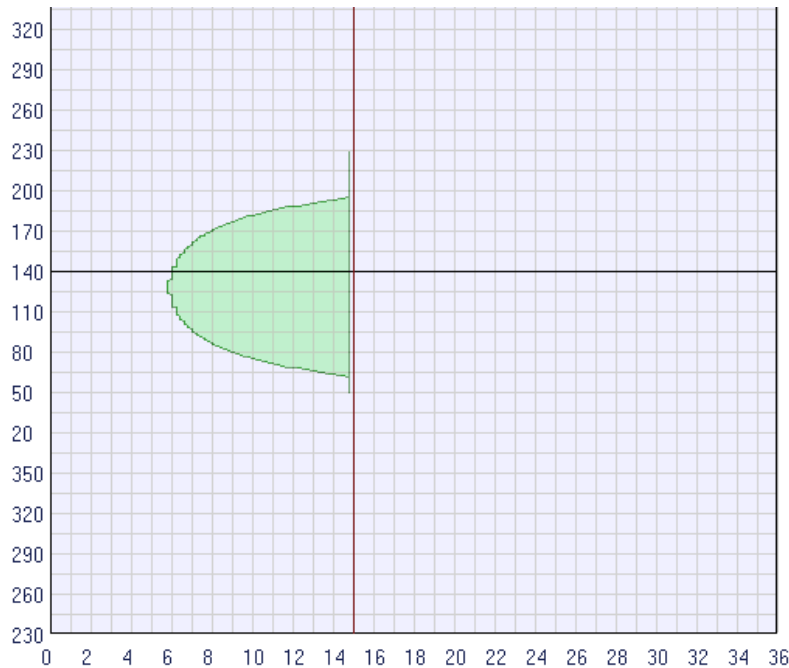


Рис. 5. Небезпечна область Θ_{dV} при активному гальмуванні судна

Для пасивного гальмування межі небезпечної області Θ_{dV} визначаються з допомогою виразу для розрахунку швидкості V_{1y} методом простих ітерацій:

$$V_{1y} = \frac{V_1}{1 + \frac{\mu V_1}{(1+k)m V_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отр}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] / D_p \}},$$

$$\text{де } X_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right| \sin K_{1y}, \quad Y_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right| \cos K_{1y},$$

$$X_2(\tau) = D_0 \sin \alpha_0 + V_2 \sin K_2 \frac{(1+k)m}{\mu V_0} \left(\frac{V_1}{V_{1y}} - 1 \right),$$

$$Y_2(\tau) = D_0 \cos \alpha_0 + V_2 \cos K_2 \frac{(1+k)m}{\mu V_0} \left(\frac{V_1}{V_{1y}} - 1 \right).$$

На рис. 6 показана область Θ_{dV} в разі пасивного гальмування для тієї ж ситуації небезпечного зближення.

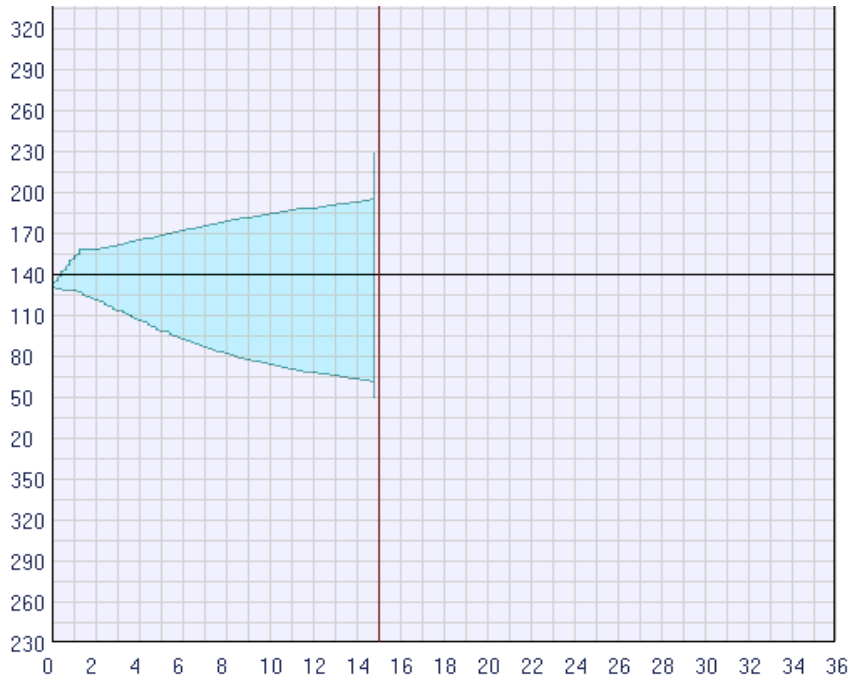


Рис. 6. Небезпечна область Θ_{dV} при пасивному гальмуванні судна

Якщо активним або пасивним гальмуванням судна при початковому курсі розходження неможливе, то необхідно визначити інший курс і відповідну йому оптимальну швидкість за допомогою небезпечної області Θ_{dV} . Як приклад розглянемо небезпечне зближення судна і цілі з параметрами $D = 3,0$ миль, $\alpha = 145^\circ$, $K_1 = 120^\circ$, $K_2 = 350^\circ$, $V_1 = 15$ вузлів, $V_2 = 20$ вузлів, $d_d = 1$ миля. Небезпечна область Θ_{dV} при активному гальмуванні судна в даній ситуації зближення показана на рис. 7, з якого видно, що при початковому курсі судна $K_1 = 120^\circ$ розходження активним гальмуванням неможливе. Тому можливий маневр зупинкою судна активним гальмуванням на найближчому курсі $K_{1y} = 138^\circ$, відповідному швидкості $V_{1y} = 0$. При ухиленні судна управо на курс $K_{1y} = 150^\circ$ безпечно розходження можливе при оптимальній швидкості $V_{1ym} = 6$ вузлів (рис. 7), причому вказані параметри маневру розходження є координатами крапки, яка знаходиться на межі області Θ_{dV} .

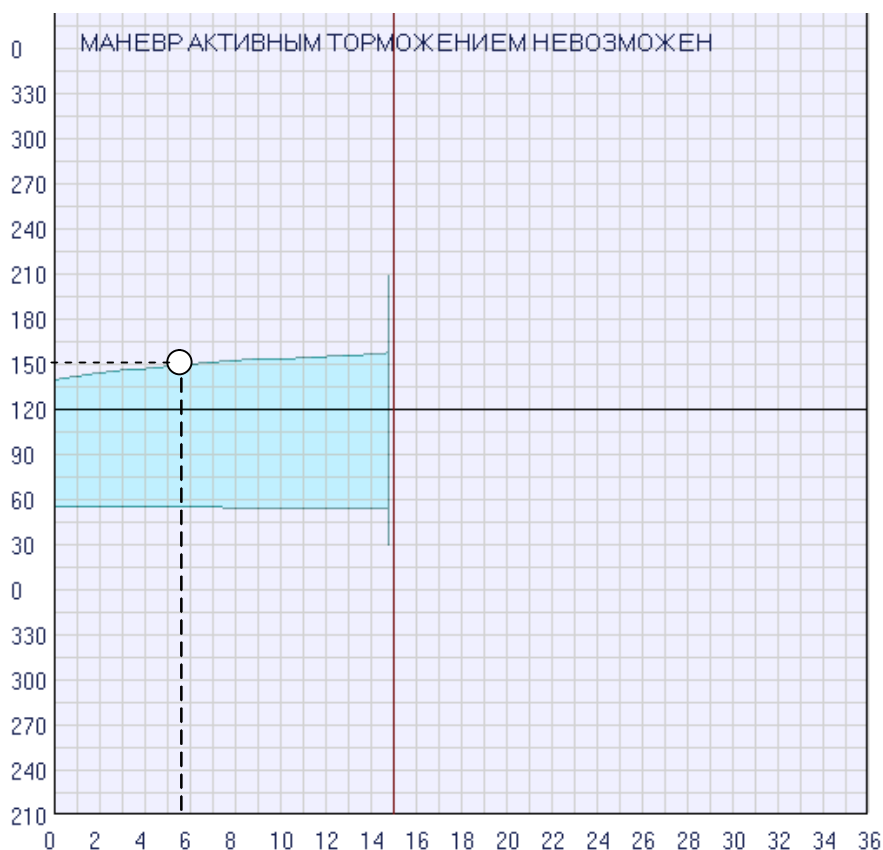


Рис. 7. Область Θ_{dV} при активному гальмуванні судна при $K_1 = 120^\circ$

Таким чином, в розділі розглянуті результати розробки способу вибору маневру розходження з небезпечною ціллю зміною курсу застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна та способу формування розширеної області неприпустимих значень параметрів руху судна для розходження зміною його швидкості та курсу з урахуванням режиму гальмування при зниженні швидкості. Матеріали розділу опубліковано у роботах [3, 7, 8, 9, 12].

У **п'ятому розділі** розглянуті процедура комп'ютерного відображення областей неприпустимих значень параметрів руху судна і вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження за допомогою імітаційного моделювання, чому присвячена третя складова задача дисертаційного дослідження.

В розділі приведено опис імітаційної комп'ютерної програми, за допомогою якої підтверджено коректність запропонованих в дисертаційній роботі процедур визначення маневрів розходження використанням областей неприпустимих значень параметрів руху судна. На рис. 8 та рис. 9 показано імітаційне програвання маневру розходження зміною курсу судна вправо.

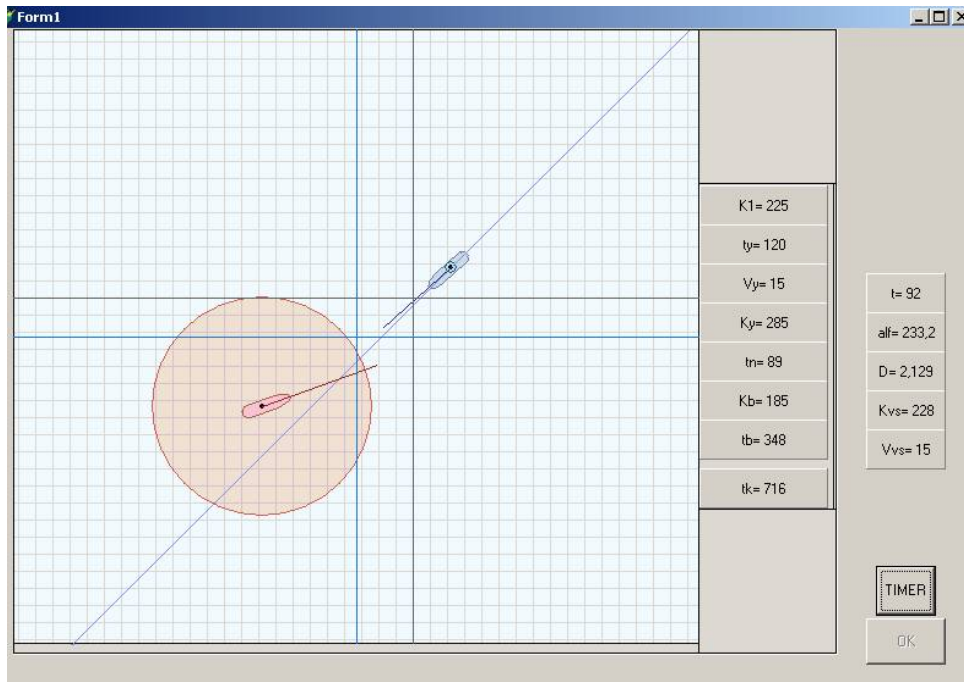


Рис. 8. Початок ухилення судна у право

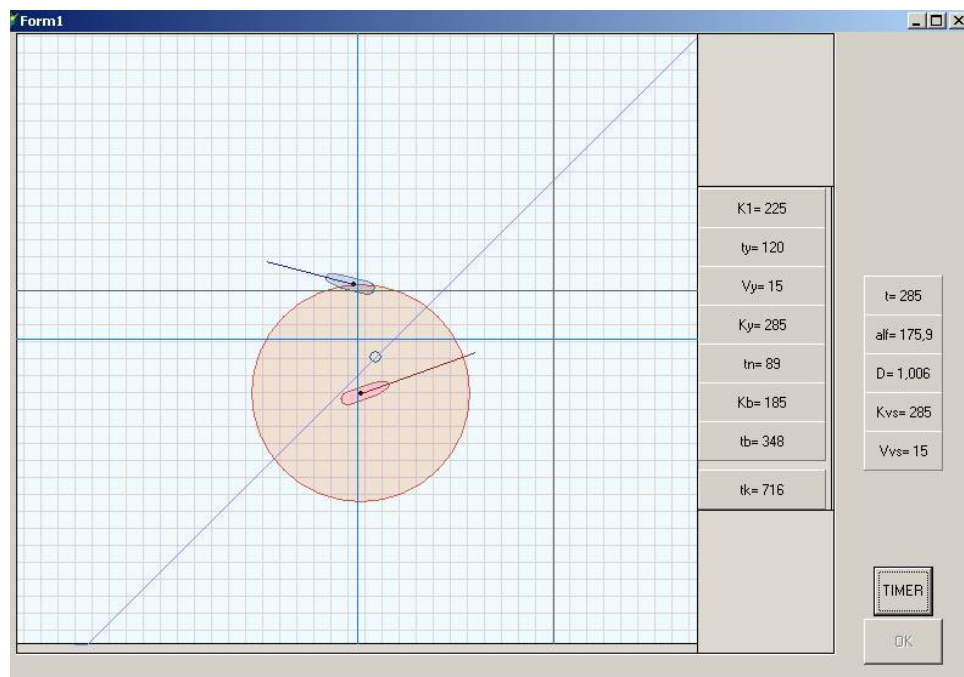


Рис. 9. Найкоротше зближення судна з ціллю

Таким чином, в розділі розглянуті процедури комп'ютерного відображення областей неприпустимих значень параметрів руху судна і вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження з допомогою імітаційного моделювання. Матеріали розділу опубліковано у роботах [6, 13].

ВИСНОВКИ

Підвищення безпеки судноводіння сприяє зменшенню кількості аварійних випадків, що веде до зниження шкоди людському життю, навколишньому середовищу, майну і виробничим процесам.

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки нового методу вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній програмі, і який відрізняється застосуванням області небезпечних значень параметрів руху судна.

У дисертаційній роботі:

- вперше розроблено спосіб вибору маневру розходження зміною курсу застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна;
- вперше запропоновано спосіб формування розширеної області небезпечних значень параметрів руху судна;
- вперше отримана процедура комп'ютерного відображення області небезпечних значень параметрів і вибору маневру розходження.

Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі ХДМА на кафедрі судноводіння та електронних навігаційних систем у розділах забезпечення безпеки маневрування судна. Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі НУ «ОМА» при викладанні дисципліни «Забезпечення навігаційної безпеки плавання». Матеріали дисертаційного дослідження також були використані в навчальному процесі КІВТ ДУІТ при підготовці фахівців морського та річкового транспорту при викладанні дисциплін «Теорія та практика судноводіння та управління судном», «Сучасні методи експериментальних досліджень та обробки даних в судноводінні та управління судном», «Технічні системи судноводіння», «Навігація та лоція». Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв, крьюінговою компанією «ВіШіпс Україна» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден, що підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пятаков Э.Н. Синтез системы бинарной координации при расхождении судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 4 (38). – С. 23 - 29.
2. Y.L. Volkov. The Choice of the Maneuver of the Vessel's Passing Considering the Coordination's System of the Interactive Vessels and Their Dynamic Characteristics / Y.L. Volkov, E.N. Pyatakov & Y.V. Kalinichenko // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 1, page 79-82, 2017.

3. Волков Е.Л. Выбор маневра расхождения судна изменением курса с помощью области недопустимых параметров движения / Волков Е.Л. // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, V (14), Issue: 132, 2017. - С. 97 - 101.
4. Копанский С.В. Графический способ оценки значения ситуационного возмущения/ Копанский С.В., Волков Е.Л. // *Автоматизация судовых технических средств.* – 2016. – № 22. – С. 57-62.
5. Пятаков Э.Н. Координация безопасного расхождения трех судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // *Судовождение: Сб. научн. трудов.* / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 185-193.
6. Волков Е.Л. Применение области недопустимых параметров движения для предупреждения столкновения судов / Волков Е.Л., Омельченко Т.Ю. // *XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке»*, 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 44-49.
7. Волков Е.Л. Оперативный способ предупреждения столкновения судов с помощью области недопустимых параметров движения/ Волков Е.Л. // *Автоматизация судовых технических средств.* – 2017. – № 23. – С. 21-24.
8. Волков Е. Л. Использование областей недопустимых значений параметров движения судна при локально-независимом управлении процессом расхождения/ Волков Е. Л. // *East European Science Journal (Warsaw, Poland) # 11 (27), 2017 part 1.* – С. 14-23.
9. Волков Е.Л. Маневр расхождения судна снижением скорости активным торможением / Волков Е.Л. // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, V (14), Issue: 146, 2017. - С. 92-96.
10. Пятаков Э. Н. Разработка системы координации трех судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э. 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.
11. Волков Е.Л. Определение значения ситуационного возмущения с помощью графической диаграммы/ Волков Е.Л.// *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали ІХ Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017.* – С. 98–101.
12. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения с учетом требований системы координации взаимодействующих судов/ Пятаков Э.Н., Волков Е.Л. // *Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17-18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017.* – С. 27–29.
13. Волков Е. Л. Безопасное расхождение судов маневром уклонения/ Волков Е. Л. // *Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : ОНМА, 2017.* – С. 137-140.

АНОТАЦІЯ

Волков Є.Л. Вдосконалення методу локально-незалежного управління процесом розходження суден використанням областей неприпустимих значень параметрів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271-Річковий та морський транспорт). - Національний Університет "Одеська морська академія", Одеса, 2018.

В роботі приведена формалізація процесу судноводіння, як зміни навігаційної ситуації в часі, відображення якої проводиться за допомогою системи навігаційної інформації. З процесу судноводіння виділено процес розходження суден, що небезпечно зближуються. Запропонований принцип декомпозиції множини оточуючих судно цілей на підмножини по ступеню небезпеки можливого зіткнення.

Розглянуто принцип незалежного управління процесом розходження, який є основним в даний час. Розглянуто взаємодію суден при виникненні ситуативного збурення і показано, що для управління процесом розходження необхідно погоджувати його маневри, для чого застосовується система координації при взаємодії суден, яка повинна відповідати ряду обов'язкових вимог, до яких відноситься принцип необхідної різноманітності Ешбі, вимозі повноти системи бінарної координації і відсутності невизначеності в процесі розходження. Також розглянута система координації взаємодії трьох суден.

Для оперативного аналізу небезпеки ситуації зближення запропонована область неприпустимих параметрів руху судна і її графічне відображення, а також розроблена процедура вибору маневру безпечного розходження зміною курсу судна, яка відрізняється простотою і наочністю.

Для ситуацій, коли судно обмежене в можливості зміни курсу запропонована процедура вибору стратегії розходження судна зміною його швидкості активним або пасивним гальмуванням, причому за допомогою неприпустимої області курсів і швидкостей гальмування запропонована процедура вибору максимальної швидкості гальмування судна при заданому курсі плавання судна, яка є оптимальною, оскільки мінімізує втрати ходового часу судна виконання маневру безпечного розходження зміною швидкості. Приведений ряд чисельних прикладів, що служать для пояснення одержаних теоретичних результатів.

Для перевірки коректності одержаного в дисертаційній роботі способу вибору безпечного маневру розходження розглянута імітаційна комп'ютерна програма, приведений її опис, а також представлені результати імітаційного моделювання розходження суден в різних ситуаціях небезпечного зближення та програванням їх маневрів.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, локально-незалежне управління, області небезпечних значень параметрів руху судна, імітаційне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Волков Е.Л. Усовершенствование метода локально-независимого управления процессом расхождения судов использованием областей недопустимых значений параметров. – Квалификационная научная работа на правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.13 – навигация и управление движением (271 - Речной и морской транспорт). - Национальный Университет "Одесская морская академия", Одесса, 2018 г.

В работе приведена формализация процесса судовождения, как изменения навигационной ситуации во времени, отражение которой производится с помощью системы навигационной информации. Из процесса судовождения выделено процесс расхождения судов, которые опасно сближаются. Предложен принцип декомпозиции множества окружающих судно целей на подмножества по степени опасности возможного столкновения.

Рассмотрены принцип независимого управления процессом расхождения, который в настоящее время является основным. Рассмотрено взаимодействие судов при возникновении ситуативного возмущения и показано, что для управления процессом расхождения необходимо согласовывать их маневры, для чего применяется система координации при взаимодействии судов, которая должна отвечать ряду обязательных требований, к которым относится принцип необходимого разнообразия Эшби, требование полноты системы бинарной координации и отсутствия неопределенности в процессе расхождения. Также рассмотрена система координации взаимодействия трех судов.

Для оперативного анализа опасности ситуации сближения предложена область недопустимых параметров движения судна и ее графическое отображение, а также разработана процедура выбора маневра безопасного расхождения изменением курса судна, которая отличается простотой и наглядностью.

Для ситуаций, когда судно ограничено в возможности изменения курса предложена процедура выбора стратегии расхождения судна изменением его скорости активным или пассивным торможением, причем с помощью недопустимой области курсов и скоростей торможения предложена процедура выбора максимальной скорости торможения судна при заданном курсе плавания судна, которая является оптимальной, поскольку минимизирует потери ходового времени судна из-за выполнения маневра безопасного расхождения изменением скорости. Приведен ряд многочисленных примеров, служащих для объяснения полученных теоретических результатов.

Для проверки корректности полученного в диссертационной работе способа выбора безопасного маневра расхождения рассмотрена имитационная компьютерная программа, приведено ее описание, а также

представлены результаты имитационного моделирования расхождения судов в различных ситуациях опасного сближения с проигрыванием их маневров.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновений судов, локально-независимое управление, области опасных значений параметров движения судна, имитационное моделирование.

ANNOTATION

Volkov Y.L. Perfection of method of locally independent control by the process of divergence of vessels by application the regions with impermissible meanings of parameters. The dissertation is the manuscript. The dissertation is on competition of scientific degree of candidate of engineering sciences. Speciality 05.22.13 – navigation and traffic control. National University "Odessa marine academy", Odessa, 2017.

The formalization of the process of navigation as changing the navigation situation in time, indicated by the system of navigation information, is investigated in the work. The main concern among different aspects of the safety of navigation is paid to the method of locally independent control in cases of divergence of vessels which are dangerously come closer to each other. The thesis grounds the principle of spreading the number of goals surrounding the vessel into subordinate goals according to the degree of their possible collision danger.

The principle of independent control by the process of vessels' divergence, the vessels cooperation in condition of indignation situation and the system of coordinating their maneuvers, as well as the system of coordinating the actions in case of divergence of three vessels are investigated and worked out in the thesis.

For the operative analysis of the degree of danger in the situation of vessels rapprochement the region with impermissible meanings of parameters of vessels' movements and their graphic reflection are suggested. The procedure of choosing the maneuver of safety vessels' divergence by changing the course of following is provided in the work.

In cases of limited course-changing possibility the procedure of choosing the strategy of vessels' divergence by changing their speed applying active or passive braking is analyzed and illustrated.

The imitation design of the grounded method, which confirmed its correctness, is produced.

Keywords: method of locally independent control, safety of navigation, divergence of vessels, warning of vessels collisions, regions with impermissible meanings of parameters, imitation design.

Підп. до друку 11.04.2018. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И18-04-33.

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003