

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
(НУ «ОМА»)



Булгаков Олександр Юрійович

УДК 656.61.052.484

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИБОРУ СТРАТЕГІЇ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН З
ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАСТЕЙ НЕБЕЗПЕЧНИХ КУРСІВ**

05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2016

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
БУРМАКА Ігор Олексійович,
Національний університет «Одеська морська академія»,
завідувач кафедри теорія і устрій судна.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
ФЕДОРОВИЧ Олег Євгенович
Національний аерокосмічний університет імені
М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
завідувач кафедри інформаційних управляючих систем.

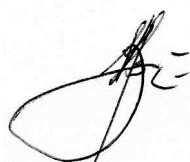
кандидат технічних наук, доцент,
ТОВСТОКОРИЙ Олег Миколайович
Херсонська державна морська академія,
завідувач кафедри управління судном та безпеки
життєдіяльності.

Захист відбудеться 10 листопада 2016 р. о 13:00 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 Одеської національної морської академії за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 2.

Автореферат розісланий 10 жовтня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д. т. н., професор



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

Інтенсивне судноплавство і навігаційні небезпеки 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 не тільки про велику складність умов плавання, але і про недосконалість методів судноводіння в таких районах.

В даний час стислі райони плавання з особливо інтенсивним рухом облаштовуються станціями управління рухом судів (СУРС), які призначені для контролю процесу судноводіння і управління рухом суден, що небезпечно зближуються. Тому розробка способів управління суднами, що небезпечно зближуються, 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), а також в рамках планів наукових досліджень Одеської національної морської академії по держбюджетній темі "Розробка методів забезпечення безаварійного плавання суден" (№ ДР 0111U001610, 2012 р.), в якій здобувач виконав окремий розділ.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки методу вибору стратегії розходження за допомогою областей небезпечних курсів суден.

Робоча гіпотеза дослідження полягає в існуванні можливості зовнішнім управлінням здійснювати вибір маневру розходження групи суден зміною курсів за допомогою областей небезпечних курсів.

Головна задача дослідження полягає в розробці алгоритму вибору маневру розходження при зовнішньому управлінні за допомогою областей небезпечних курсів суден.

Рішення головної задачі досягнуте шляхом дослідження складових задач:

- формалізація області небезпечних курсів двох суден;
- розробка графічного способу комп'ютерного моделювання для вибору оптимального маневру розходження;
- розробка способу сканування площин з областями небезпечних курсів для вибору маневру розходження.

Об'єктом дослідження дисертації є попередження зіткнень суден.

Предметом дослідження є методи вибору безпечного маневру розходження суден.

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

- дедукції при аналізі основних підходів рішення 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;
- математичного аналізу для пошуку залежності дистанції найкоротшого зближення і параметрів відносного руху від курсів і швидкостей суден;
- аналітичної геометрії для формалізації області небезпечних курсів двох суден.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в створенні нового методу вибору безпечної стратегії розходження групи суден в стислих районах, який відрізняється принципом зовнішнього управління при використанні областей небезпечних курсів суден.

У дисертаційній роботі:

- вперше розроблено спосіб аналітичного опису області небезпечних курсів пари суден і відображення її на розширеній площині їх курсів;
- вперше створено графічний спосіб комп'ютерного моделювання для вибору оптимального маневру розходження групи суден зміною їх курсів;
- одержали подальший розвиток методи попередження зіткнення суден розробкою способу сканування площин з областями небезпечних курсів для вибору маневру розходження.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення дисертаційної роботи полягає у тому, що її результати можуть бути використані розробниками в нових поколіннях САРП, а також в СУРС для управління суднами, що небезпечно зближуються. Практичні результати дисертаційного дослідження упроваджені у виробничу діяльність учбово-тренажерного центру «Альфа-Трейнінг» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден по напрямку «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт упровадження від 23.11.2015 р.), приватного вищого навчального закладу «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт упровадження від 16.11.2015 р.), Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в наукових дослідженнях Одеської національної морської академії (акт упровадження від 07.12.2015 р.), а також в учбовому процесі при викладанні дисципліні «Забезпечення навігаційної безпеки плавання» (акт від 12.11.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі етапи дисертаційної роботи виконані дисертантом самостійно без співавторів: здобувачем проведений

інформаційний пошук, забезпечене методологічне обґрунтування, виконане імітаційне моделювання, упроваджені результати роботи у виробничий процес. З наукових робіт, опублікованих в співавторстві, в дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто: формування маневру розходження групи суден з позицій зовнішнього управління [19], визначення в районі контролю СУДС групи суден, що взаємодіють [1], процедура розрахунку меж області небезпечних курсів пари суден [4], спосіб вибору маневру розходження суден зміною їх курсів [5], використання областей небезпечних курсів суден при розходженні трьох суден [6], процедура управління групою суден в ситуації небезпечного зближення [8], спосіб формалізації множини суден, що небезпечно зближуються [11], принцип зовнішнього управління рухом суден в районах контролю СУДС [13], вибір маневру розходження декількох суден зміною курсів [14], визначення параметрів маневру розходження декількох суден [16] і принцип формування оптимального вектора управління суднами для безпечного розходження [18].

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи докладалися, обговорювалися і були схвалені на науково-технічних конференціях: «Ефективна і безпечна експлуатація морських суден і споруд» (Севастополь, 23-25 вересня 2009 р.), «Ефективна і безпечна експлуатація морських суден і споруд» (Севастополь, 2-4 жовтня 2013 р.), «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 21-23 травня 2014 р.), «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 20-22 травня 2015г.); на VI Міжнародної науково - практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2014)» (Херсон, 27-29 травня. 2014 р.); на науково-методичних конференціях: «Сучасні проблеми підвищення безпеки судноводіння»(Одеса, 7-8 жовтня 2009 р.), «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека» (Одеса, 19-20 листопада 2013 р.), « Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» (Одеса, 18-19 листопада 2014 р.), «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)» (Херсон, 26-28 травня, 2015 р.).

Публікації. За наслідками виконаних досліджень автором опубліковано 19 наукових робіт (з них 8 одноосібно), зокрема: у наукових профільних виданнях, що входять в перелік МОН України — 8 наукових статей [1–7, 10]; у зарубіжних наукових профільних виданнях — 2 наукові статті [8, 9]; у 1 монографії [19], в збірках матеріалів наукових конференцій — 8 тез доповідей [11–18].

Структура роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних літературних джерел (161 найменування) і двох додатків. Загальний об'єм роботи складає 252 сторінок і містить 61 малюнок і 2 таблиці, зокрема: 168 сторінок основного тексту, 17 сторінок списку використаних джерел, 67 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** роботи проведено обґрунтування актуальності теми дисертації, визначено мету та завдання дослідження, показано наукову новизну і практичне значення роботи.

У **першому розділі** здійснено огляд основних напрямків дослідження проблеми забезпечення безпеки судноводіння і вибрано напрям дисертаційного дослідження.

Аналіз літератури по темі дисертаційної роботи показав, що основна увага була приділена проблемі забезпечення безпеки судноводіння шляхом комплексного вирішення питань попередження зіткнень суден в стислих умовах плавання, підвищення точності визначення місця судна та вдосконалення методів управління суднами.

В рішення цих проблем значний внесок зробили багато вітчизняних та іноземних вчених, таких як: Вагущенко Л.Л., Кондрашихін В.Т., Мальцев А.С., Цимбал М.М., Фрейдзон И.Р., Lisowski J., та інші, які показали, що найбільш актуальними є теоретичні та практичні дослідження з проблеми безпечного розходження суден. Аналіз підходів для рішення проблеми безпечного розходження суден показав, що перспективним є використання методів зовнішнього управління. Питання по даній тематиці потребують подальших наукових досліджень.

Такий висновок дав можливість обґрунтувати основні напрями дисертаційного дослідження.

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

Методами системного підходу розроблено технологічну карту дисертаційного дослідження, в якій визначені 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 ситуації небезпечного зближення декількох суден, яка пов'язана з першою складовою задачею дисертаційного дослідження.

Сформульоване поняття взаємодіючої групи суден Σ_n у ситуації виникнення загрози зіткнення, під якою розуміється сукупність суден, що знаходяться в районі управління СУРС та характеризується як керована динамічна система із зовнішнім управлінням, яке повинне забезпечити перебування системи у області допустимих безпечних станів.

Початковими характеристиками взаємодіючої групи суден Σ_n є позиційна характеристика і характеристика параметрів руху. Позиційною характеристикою системи Σ_n є матриця відносних позицій, елементами якої є позиційні характеристики пари судів системи, - дистанція і пеленг.

Взаємне переміщення судів системи характеризується матрицею відносних швидкостей V_{ot} , елементом якої є відносна швидкість V_{otij} пари суден, причому у відносному переміщенні прийматимемо рух оперуючого судна щодо нерухомої цілі.

Повне управління системою Σ_n зовнішнім управлінцем, що розпоряджається стратегіями всіх суден системи і слідує за матрицею збурення D_{bn} і, за наявності ситуативного збурення, переводить динамічну систему в незбурений стан загальною стратегією, що включає необхідне мінімальне число управлінь суднами матриці. Таким управлінцем може бути, як СУРС, так і, що принципово важливо, суднова інформаційна система, з тими ж можливостями, встановлена на кожному із суден, яка знаходить рішення задачі колективної компенсації ситуативного збурення і реалізує одержану в результаті рішення індивідуальну стратегію.

Саме висока ефективність повного управління при великій інтенсивності суднопотока зумовила появу і стрімкий розвиток СУДС. Зрозуміло, розвиток принципів повного управління динамічною системою Σ_n є одним з найперспективніших напрямів зниження аварійності в стислих умовах плавання.

Реалізація принципів повного управління вимагає розробки ряду питань, одним з яких є визначення групи взаємодіючих суден в ситуаціях небезпечного зближення.

Для детального дослідження динамічної системи Σ_n були розглянуті питання впливу параметрів руху пари суден на зміну відносного курсу і дистанції найкоротшого зближення.

Ситуативне збурення ω_{ij} виникає у тому випадку, коли прогнозована дистанція найкоротшого зближення $\min D_{ij}$ суден менше граничнодопустимої дистанції d_d , тобто $\min D_{ij} < d_d$, і судна зближуються небезпечно. У свою чергу, прогнозована дистанція найкоротшого зближення $\min D_{ij}$ визначається виразом:

$$\min D_{ij} = \Delta_{ij} D_{ij} \sin(\alpha_{ij} - K_{otij}),$$

$$\text{де } \operatorname{tg} K_{otij} = \frac{V_i \sin K_i - V_j \sin K_j}{V_i \cos K_i - V_j \cos K_j}; \quad \Delta_{ij} = -1, \text{ при } \sin(\alpha_{ij} - K_{otij}) < 0.$$

З приведенного виразу виходить, що у разі виникнення ситуативного збурення, його компенсація можлива збільшенням значення $\min D_{ij}$, яке визначається відносним курсом K_{otij} , залежного від параметрів руху судна і цілі. Тому СУРС, здійснюючої управління суднами, необхідно знайти такі значення курсів суден K_i і K_j або їх швидкостей V_i і V_j , при яких їх дистанції найкоротшого зближення будуть більше граничнодопустимої

дистанції d_d .

У роботі показано, що похідна $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ відносного курсу K_{ot} по курсу судна K_1 має наступний вигляд:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1} = \frac{V_1[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_{ot}^2},$$

а змішана похідна по курсу K_2 другого судна після перетворення дозволяє одержати вираз для швидкості зміни відносного курсу при одночасній зміні курсів суден з однаковою кутковою швидкістю:

$$\frac{\partial^2 K_{ot}}{\partial K_1 \partial K_2} = \frac{V_1 V_2 (V_1 + V_2)}{V_{ot}^4} \Delta V \sin \Delta K,$$

де ΔV - різниця швидкостей суден, а ΔK - різниця їх курсів, причому $K_1 - K_2 = \Delta K$ і $V_2 - V_1 = \Delta V$.

Аналіз одержаного виразу показує, що зміна відносного курсу є функцією різниці курсів суден ΔK і різниці їх швидкостей ΔV . При однакових куткових швидкостях повороту суден зміна відносного курсу відсутня, якщо їх лінійні швидкості однакові. За інших рівних умов зміна відносного курсу лінійно залежить від різниці швидкостей суден і має напівкругову залежність від різниці їх курсів.

У роботі також досліджений вплив зміни швидкості одного з суден на величину відносного курсу, причому похідна відносного курсу по швидкості судна $\frac{\partial K_{ot}}{\partial V_1}$, з урахуванням позначення $\Delta K = K_2 - K_1$, виражається таким чином:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial V_1} = \frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K}.$$

Як показує аналіз одержаного виразу, відносний курс постійний при зміні швидкості суден, якщо їх різниця курсів рівна 0° або 180° .

У разі, коли обидва судна змінюють швидкості, зміна відносного курсу виражається змішаною похідною $\frac{\partial K_{ot}}{\partial V_1 \partial V_2}$, яка описується за допомогою формули:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial V_1 \partial V_2} = \frac{\sin \Delta K}{V_{ot}^2} \left(1 - 2V_2 \frac{V_2 - V_1 \cos \Delta K}{V_{ot}^2} \right).$$

Зміна відносного курсу K_{ot} веде до зміни дистанції найкоротшого зближення $\min D$, що дає можливість збільшити значення $\min D$ до величин, необхідних для безпечного розходження.

У дисертації одержана залежність зміни дистанції найкоротшого зближення від зміни курсу судна $\frac{\partial \min D}{\partial K_1}$, яка має наступний вигляд:

$$\frac{\partial \min D}{\partial K_1} = G_s \frac{DV_1}{V_0^3} [V_2 \cos(K_2 - \alpha) - V_1 \cos(K_1 - \alpha)] [V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)],$$

де $G_s = \text{sign}[(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2) \cos \alpha - (V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2) \sin \alpha]$.

Необхідно врахувати, що даний вираз істотний тільки у тому випадку, коли судно з ціллю зближуються, і має місце нерівність:

$$\dot{D} = V_2 \cos(K_2 - \alpha) - V_1 \cos(K_1 - \alpha) < 0.$$

Зміна знаку похідної $\frac{\partial \min D}{\partial K_1}$ відбувається при значеннях курсу судна K_1 , в яких досягається рівність $\frac{\partial \min D}{\partial K_1} = 0$, тому в роботі показано, що похідна $\frac{\partial \min D}{\partial K_1}$ перетворюється в нуль при шести значеннях курсу K_1 , причому:

$$K_{11} = \alpha + \arccos[\rho^{-1} \cos(K_2 - \alpha)],$$

$$K_{12} = \alpha - \arccos[\rho^{-1} \cos(K_2 - \alpha)],$$

$$K_{13} = K_2 + \arccos \rho,$$

$$K_{14} = K_2 - \arccos \rho.$$

$$K_{15} = \alpha + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_2 - \alpha)],$$

$$K_{16} = \alpha + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_2 - \alpha)].$$

Відзначаємо, що похідна $\frac{\partial \min D}{\partial K_1}$ у загальному випадку рівна нулю при шести значеннях курсу судна $K_{11} \dots K_{16}$, з яких істотними є тільки ті, які належать до підмножини курсів зближення.

Оскільки бінарні взаємодії передбачають зміну курсу обома суднами, то в роботі одержана залежність зміни дистанції найкоротшого зближення $\min D$ від зміни курсів, як судна, так і цілі, яка має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \min D}{\partial K_1 \partial K_2} = G_s \{ & \left\{ \left[\mp \frac{DV_1}{V_0^3} V_1 V_2 \sin(K_1 - K_2) \right] \frac{[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_0^2} + \right. \\ & + \frac{DV_1}{V_0} \times \frac{\mp V_2 \sin(K_1 - K_2) \{V_0^2 - 2V_1[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]\}}{V_0^4} \left. \right\} [V_2 \cos(K_2 - \alpha) - V_1 \cos(K_1 - \alpha)] + \\ & + \frac{DV_1}{V_0} \frac{[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_0^2} [-V_2 \sin(K_2 - \alpha)] \left. \right\}. \end{aligned}$$

У останній формулі перед деякими членами стоїть знак « \mp », що означає застосування відповідного знаку «+» або «-» залежно від напрямів одночасного повороту судна і цілі.

За допомогою одержаної формули досліджувалася зміна дистанції найкоротшого зближення $\frac{\partial \min D}{\partial K_1 \partial K_2}$, для чого в дисертаційній роботі проводилося імітаційне моделювання зміни дистанції найкоротшого зближення за допомогою комп'ютерної програми.

У дисертації одержана процедура розрахунку сумісного маневру зміною курсу пари суден з різним відношенням швидкостей для попередження їх зіткнення. Для цього використані небезпечні області курсів $S_{D_{ij}}$, які задані на розширеній площині курсів суден K_i і K_j , в якій дистанція найкоротшого зближення менше граничнодопустимої дистанції, тобто $\min D_{ij} < d_d$. Межа між небезпечною і допустимою областями курсів K_i і K_j визначається рівнянням:

$$K_i = \gamma_{ij} + \arcsin \{ \rho_{ij} [\sin(K_j - \gamma_{ij})] \},$$

$$\text{де } \rho = \frac{V_1}{V_2} \text{ і } \gamma_{ij} = \alpha_{ij} - \arcsin\left(\frac{d_d}{\Delta_{ij} D_{ij}}\right).$$

У випадку $V_i > V_j$ область небезпечних курс показана на рис. 1.

Таким чином, маючи в своєму розпорядженні небезпечну область $S_{D_{ij}}$ курсів двох суден можна вибрати їх безпечні курси ухилення, що забезпечують їх розходження на відстані, яке більше величини граничнодопустимої дистанції.

Таким чином, в розділі розглянута задача формалізації ситуації небезпечного зближення декількох суден.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 2, 7, 8, 10, 11, 12, 13].

У **четвертому розділі** запропонована розробка графічного способу комп'ютерного моделювання для вибору оптимального маневру розходження, чому присвячена друга складова задача дисертаційного дослідження.

Розглянуто принцип вибору стратегії розходження групи суден, що знаходяться під управлінням СУРС. Детально описано формування стратегії розходження трьох суден зміною їх курсів. Початкова ситуація характеризується пеленгами α_{ij} і дистанціями D_{ij} ($(i \neq j)$), а взаємне переміщення - відносними курсами K_{otij} і швидкостями V_{otij} . Дистанції найкоротшого зближення $\min D_{ij}$ кожної пари суден менше граничнодопустимої дистанції d_d , тобто $\min D_{ij} < d_d$, і всі три судна зближуються небезпечно.

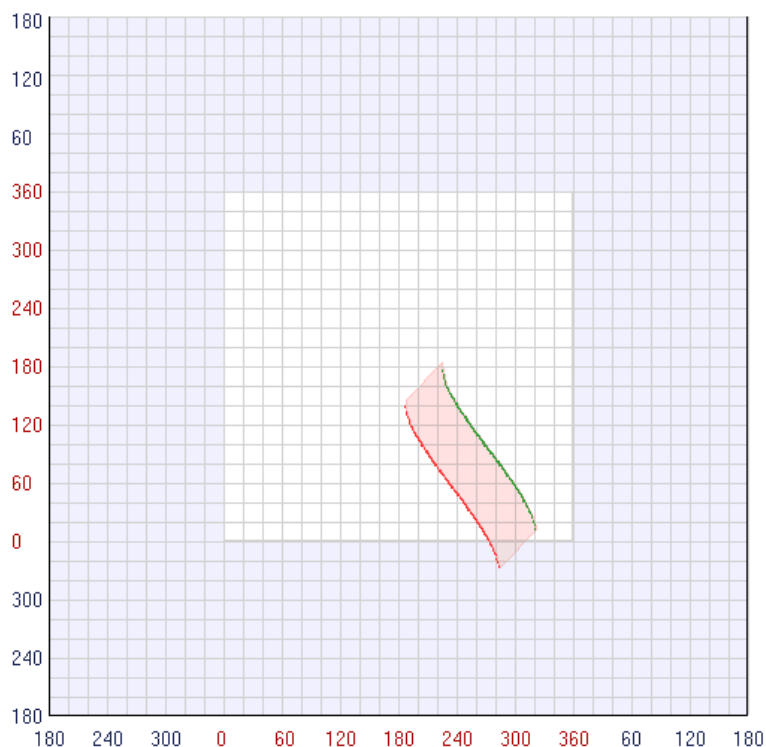


Рисунок 1 – Небезпечна область S_{Dij} курсів K_i і K_j при $V_i > V_j$

СУРС, здійснюючи управління суднами, необхідно знайти курси суден K_i при незмінних швидкостях V_i , при яких їх дистанції найкоротшого зближення будуть більші допустимої дистанції d_d .

Аналітично це виражається таким чином:

$$\begin{cases} \min D_{12} = \Delta_{12} D_{12} \sin(\alpha_{12} - K_{ot12}) \geq d_d; \\ \min D_{13} = \Delta_{13} D_{13} \sin(\alpha_{13} - K_{ot13}) \geq d_d; \\ \min D_{23} = \Delta_{23} D_{23} \sin(\alpha_{23} - K_{ot23}) \geq d_d, \end{cases}$$

де $\Delta_{ij} = -1$, при $\sin(\alpha_{ij} - K_{otij}) < 0$, інакше $\Delta_{ij} = 1$.

Дистанцію найкоротшого зближення $\min D_{ij}$ можна збільшити зміною K_{otij} , тобто курсів судів K_i . При цьому слід розглянути відповідну систему рівнянь:

$$\begin{cases} (\sin K_1 \cos \gamma_{12} - \cos K_1 \sin \gamma_{12}) = \rho_{12} (\sin K_2 \cos \gamma_{12} - \cos K_2 \sin \gamma_{12}); \\ (\sin K_1 \cos \gamma_{13} - \cos K_1 \sin \gamma_{13}) = \rho_{13} (\sin K_3 \cos \gamma_{13} - \cos K_3 \sin \gamma_{13}); \\ (\sin K_2 \cos \gamma_{23} - \cos K_2 \sin \gamma_{23}) = \rho_{23} (\sin K_3 \cos \gamma_{23} - \cos K_3 \sin \gamma_{23}), \end{cases}$$

кожне рівняння якої представляє аналітичний вираз межі небезпечної області S_{Dij} , яка огорожує неприпустимі поєднання значень пар відповідних курсів K_i і K_j . Одержавши з даної системи рівнянь небезпечні області S_{D12} , S_{D13} і S_{D23} , слід вибрати такі значення K_1 , K_2 і K_3 , парні поєднання яких не

належали б відповідним небезпечним областям, що аналітично виражається таким чином:

$$(K_1, K_2) \notin S_{D_{12}};$$

$$(K_1, K_3) \notin S_{D_{13}};$$

$$(K_2, K_3) \notin S_{D_{23}}.$$

Набуті значення курсів суден забезпечать їх розходження на відстанях, що перевершують граничнодопустиму дистанцію зближення.

У разі небезпечного зближення трьох суден слід визначити небезпечні області кожної пари суден $S_{D_{12}}$, $S_{D_{13}}$ і $S_{D_{23}}$ (рис. 2) і безпечні курси розходження визначаються крапкою простору $OK_1K_2K_3$, проекції якої не належать жодній небезпечній області, наприклад точка М.

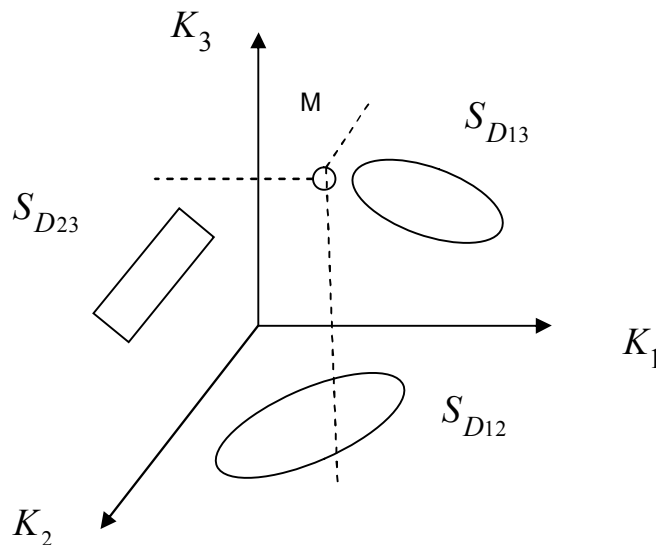


Рисунок 2 – Геометрична інтерпретація вибору безпечних курсів розходження суден

Як приклад розглянемо ситуацію зближення трьох суден з параметрами: $V_1 = 20$, $V_2 = 12$, $V_3 = 20$, $K_1 = 60$, $K_2 = 180$, $K_3 = 300$, $\alpha_{12} = 45$, $\alpha_{13} = 75$, $\alpha_{32} = 315$, $D_{12} = 3,0$, $D_{13} = 3,5$, $D_{32} = 2,5$.

Початкова ситуація показана на рис. 3. Початкові позиції суден позначені цифрами 1, 2 і 3. Напрямок і швидкість руху судів показані векторами V_1 , V_2 і V_3 .

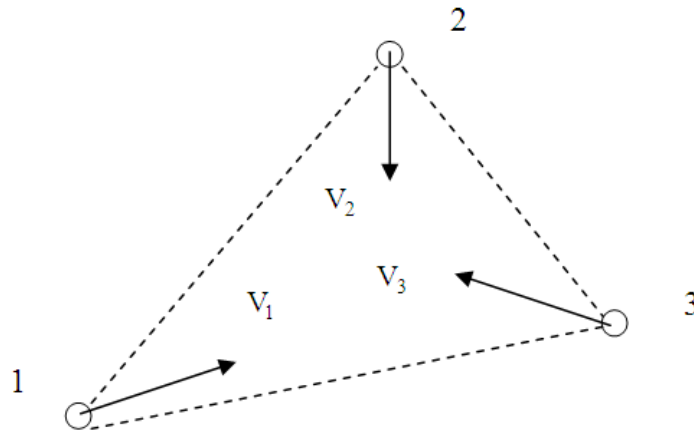


Рисунок 3 – Початкова ситуація небезпечного зближення трьох суден

Для кожної пари суден на комп'ютері розраховувалися небезпечні області S_{D12} , S_{D13} і S_{D23} , які представлені на рис. 4.

Як впливає з рис. 4, парні значення початкових курсів суден належать небезпечним областям, відповідно це крапки $A12$, $A23$ і $A13$. Отже, дистанції найкоротшого зближення кожної пари суден менше граничнодопустимої дистанції.

Для безпечного розходження необхідно змінити курси не менше, ніж двох суден, так, щоб парні курси (K_i, K_j) не належали небезпечним областям. На рис. 6 показані парні курси (крапки $B12$, $B23$ і $B13$), що визначають безпечне розходження суден.

На рис. 5 показана ситуація безпечного розходження суден, причому друге судно не змінює курс, перше судно ухиляється вліво на курс $K_1 = 340^\circ$, а третє судно змінює курс управо до значення $K_3 = 340^\circ$.

В розділі запропонована формалізація задачі визначення оптимального вектора управління. За ситуації, коли в групі, що складається з n взаємодіючих суден, виникає ситуативне збурення, його компенсація здійснюється вектором управління $u = \{\Delta K_i\}$, де ΔK_i - зміна курсів кожного з суден. Значення ΔK_i вибираються таким чином, що дистанції найкоротшого зближення $\min D_{ij}$ кожної пари судів не менше граничнодопустимої дистанції d_d ($\min D_{ij} \geq d_d$).

Множина значень управляючого вектору U , при яких для всіх $\min D_{ij}$ виконується умова $\min D_{ij} \geq d_d$, складає його допустиму область U_d . Кожному значенню вектора управління $u = \{\Delta K_i\} \in U_d$ відповідає критерій оптимальності $Q = \sum_{i=1}^n \Delta K_i^2$. Очевидно, що оптимальне значення вектора управління $u_o = \{\Delta K_i\}$ досягається при мінімумі критерію оптимальності Q ,

тобто $\sum_{i=1}^n \Delta K_i^2 = \min$. Це означає, що при мінімальному значенні Q судна безпечно розходяться на найкоротших відстанях $\min D_{ij} \geq d_d$ при мінімальних відхиленнях суден від їх початкових курсів.

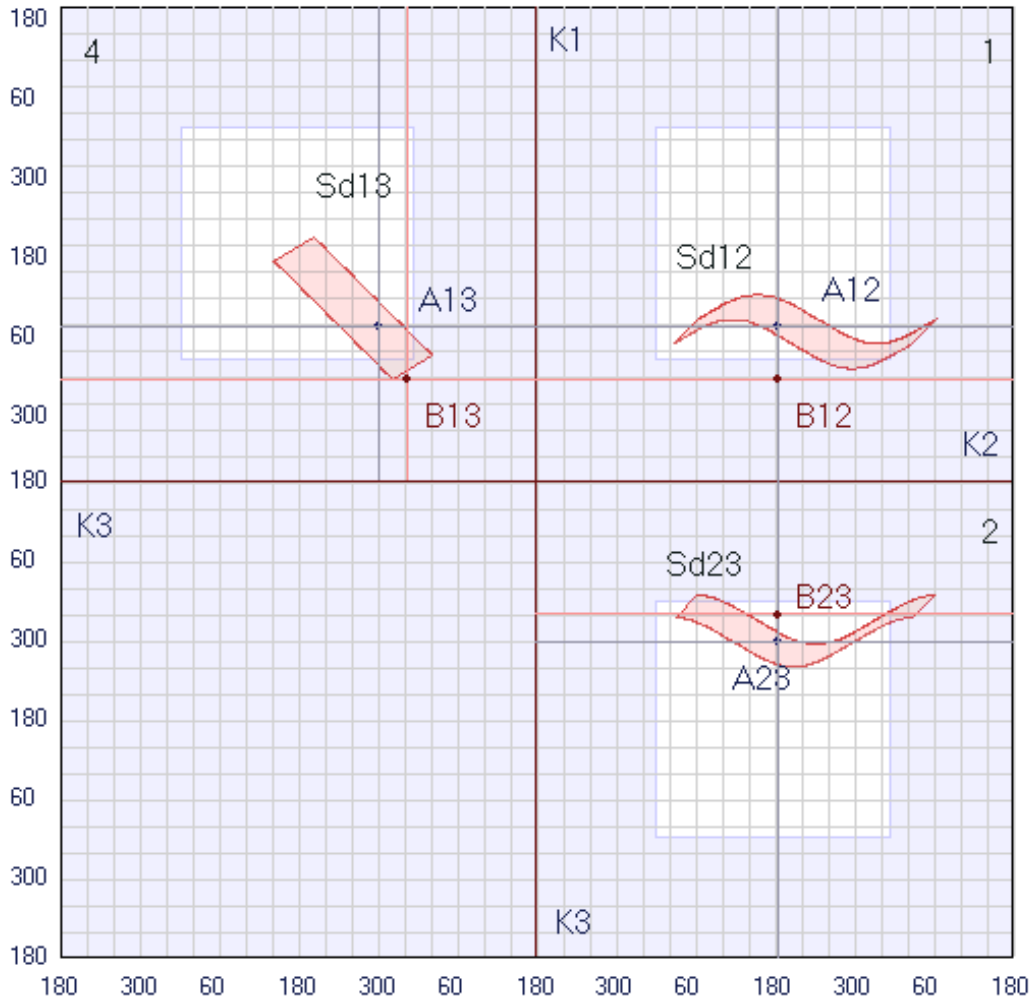


Рисунок 4 – Небезпечні області S_{D12} , S_{D13} і S_{D23}

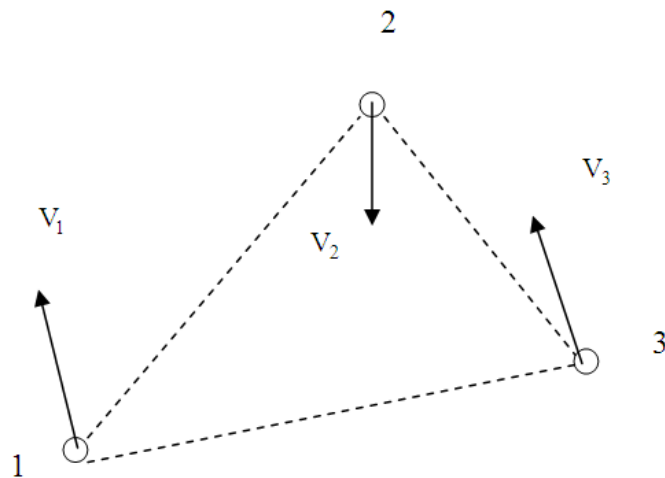


Рисунок 5 – Ситуація безпечного розходження зміною курсів K_1 і K_3

З урахуванням вищевикладеного задача вибору оптимального вектора управління формалізується таким чином:

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta K_i^2 \rightarrow \min ,$$

$$(K_{ni} + \Delta K_i, K_{nj} + \Delta K_j) \notin S_{Dij} .$$

Мінімум критерію оптимальності Q досягається при прагненні до нуля змін курсів кожного з суден ΔK_k . Так, як при небезпечному зближенні пари суден крапка (K_i, K_j) знаходиться в небезпечній області S_{Dij} , та мінімальна зміна курсу досягається при значенні курсу ухилення, відповідного межі небезпечної області. Якщо крапки межі небезпечної області позначити (K_i^*, K_j^*) , то мінімальне допустиме значення зміни курсу ΔK_k , яке забезпечує мінімум критерію оптимальності Q , визначається виразом:

$$\Delta K_k = 0, \text{ якщо } (K_{nk}, K_{nj}) \notin S_{Dij};$$

$$\Delta K_k = K_k^* - K_{nk}, \text{ якщо } (K_{nk}, K_{nj}) \in S_{Dij}.$$

Якщо зміни курсів суден ΔK_k вибрати відповідно до даного виразу, то буде реалізований оптимальний вектор управління $u_o = \{\Delta K_i\} \in U_d$, що належить до допустимої області, який забезпечує мінімальне значення критерію оптимальності Q .

Залежно від структури матриці ситуативного збурення W_{bn} безпечно розходження суден може вимагати зміни курсу різної кількості суден взаємодіючої групи (від одного до всіх). Тому переважним є маневр розходження, в якому змінюють курс менша кількість суден.

Для визначення параметрів оптимального маневру розходження в роботі запропонований графічний спосіб комп'ютерного моделювання, який полягає в наступному. Для пари суден, що небезпечно зближуються, на моніторі виводиться зображення розширеної площини можливих поєднань курсів $K_i \times K_j$, причому розширена площа має розміри $720^\circ \times 720^\circ$, як показано на рис. 6.

У комп'ютерній програмі, яка відображає розширену площину $K_i \times K_j$ і область небезпечних курсів S_{Dij} , передбачено імітаційне моделювання зміни курсів K_i і K_j за допомогою лінійки прокрутки, причому вибір курсів K_i і K_j здійснюється з допомогою клавіш «K1» і «K2». Після вибору курсу відповідною клавішею лінійкою прокрутки змінюється вибраний курс і переміщається лінія відповідного курсу, задаючи нове положення крапки (K_i, K_j) на розширеній площині. Тому оператор, використовуючи лінійку прокрутки, змінює значення курсів K_i, K_j і виводить крапку $(K_i + \Delta K_i, K_j + \Delta K_j)$ з небезпечної області S_{Dij} при мінімальних значеннях ΔK_i і ΔK_j . Очевидно, що в цьому випадку крапка $(K_i + \Delta K_i, K_j + \Delta K_j)$ знаходиться на

межі небезпечної області на мінімальній відстані щодо початкового положення, як показано на рис. 6.

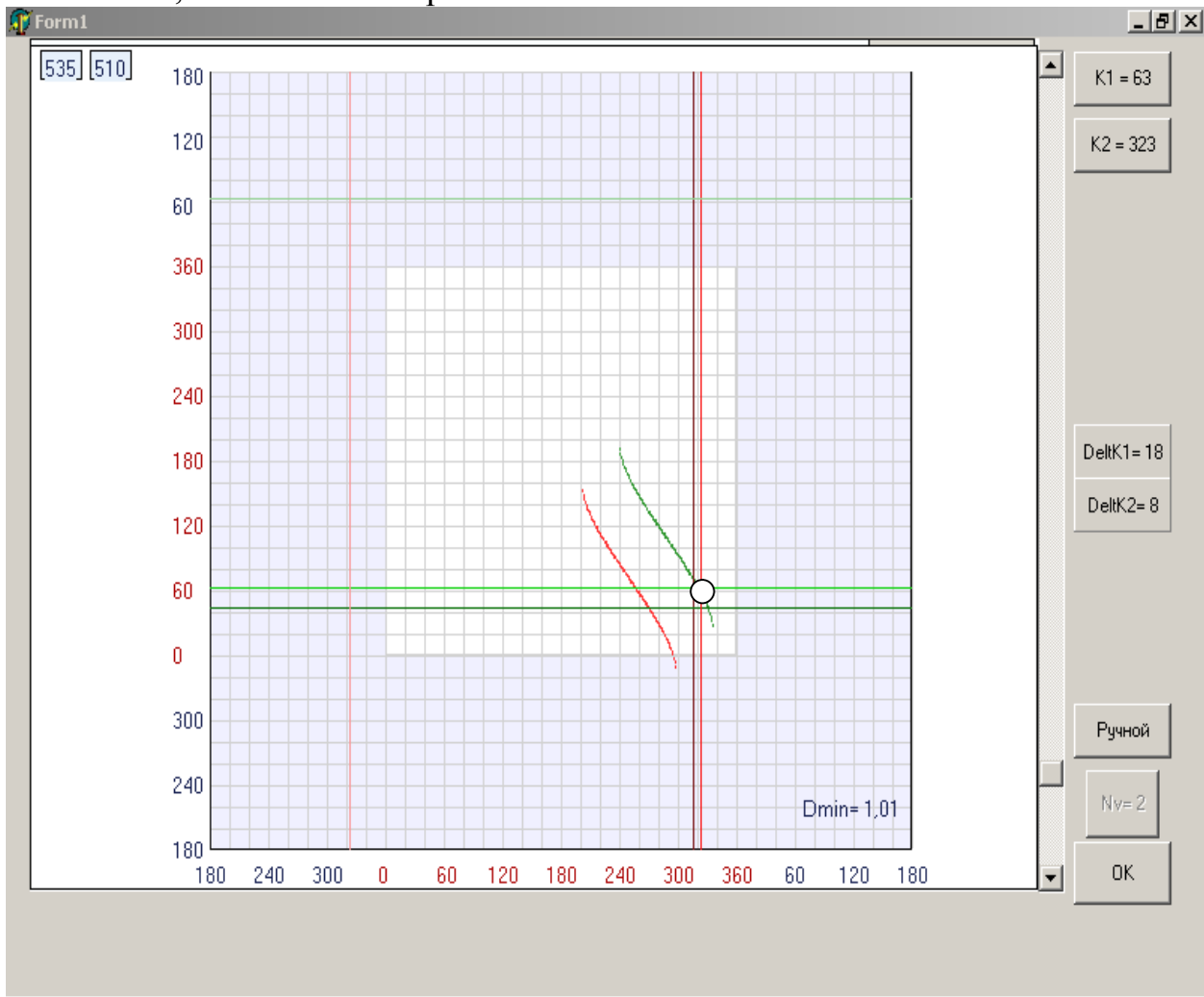


Рисунок 6 – Визначення оптимальних значень курсів K_i і K_j

У разі, коли група складається з трьох суден на екран монітора виводяться три розширені площини $K_1 \times K_2$, $K_1 \times K_3$ і $K_2 \times K_3$ з відповідними небезпечними областями S_{D12} , S_{D13} і S_{D23} (рис. 7).

Для компенсації ситуативних збурень ω_{13} і ω_{23} за допомогою лінійки прокрутки, вибираючи клавішами «K1», «K2» і «K3» значення відповідних курсів, зміщуються крапки (K_1, K_2) , (K_1, K_3) і (K_2, K_3) з початкових положень, як показано на рис. 7.

Відзначимо, що використання графічного способу комп'ютерного моделювання для визначення оператором параметрів оптимального маневру розходження групи суден можливе для числа суден в групі не перевищуючого п'яти. Це обумовлено неможливістю одночасного відображення розширених площин і небезпечних областей курсів суден на моніторі комп'ютера.

При числі суден більше двох точність ручного вибору їх оптимальних курсів знижуються і погіршуються із зростанням числа суден в групі. Цей

недолік долається при використуванні способу сканування площин з областями небезпечних курсів.

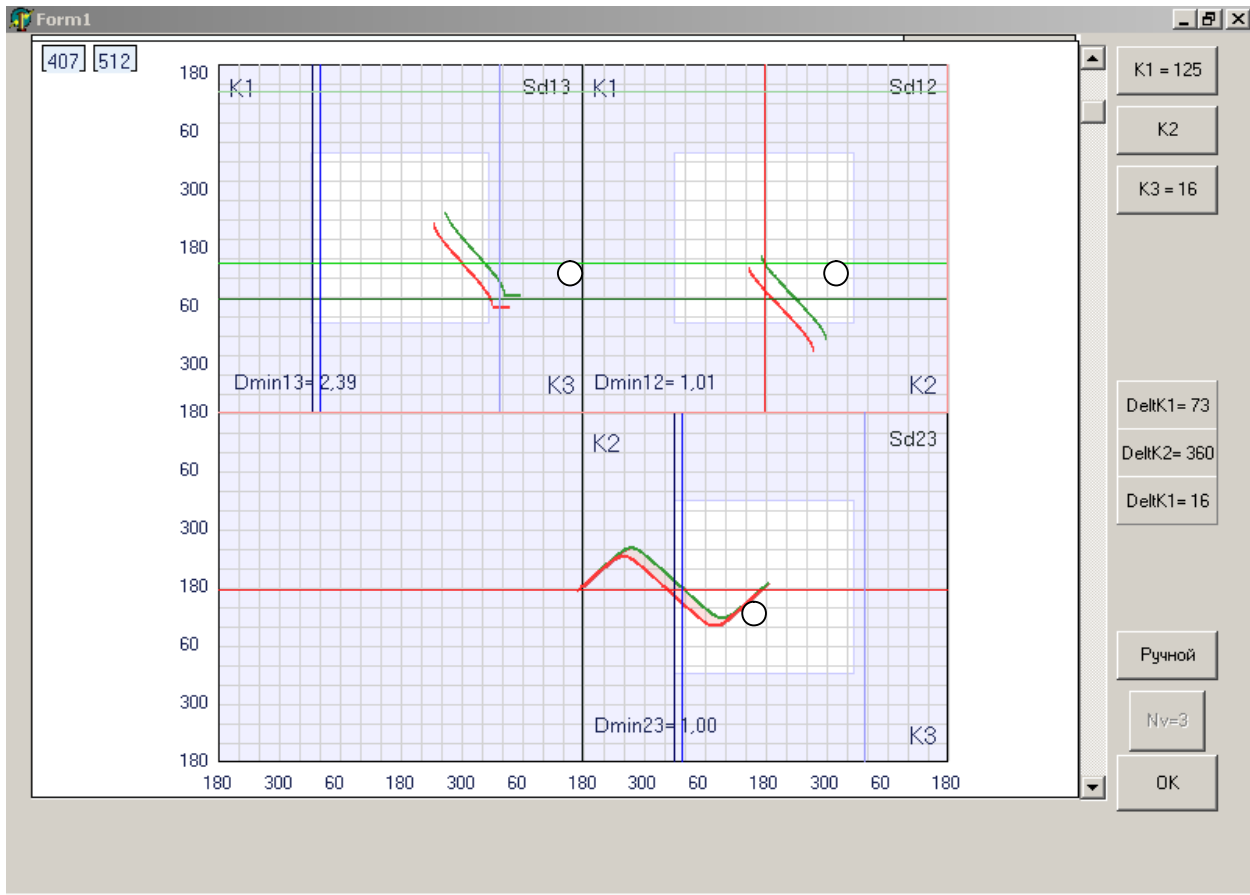


Рисунок 7 – Компенсація ситуативних збурень при небезпечному зближенні трьох суден

Таким чином, в розділі розглянута розробка графічного способу комп'ютерного моделювання вибору оптимального маневру розходження. Матеріали розділу опубліковано у роботах [3, 4, 6, 9, 14, 16, 18].

У п'ятому розділі розглянуто спосіб сканування площин з областями небезпечних курсів для вибору маневру розходження, що є третьою складовою задачею дисертації.

Приведемо умову вибору оптимального вектора управління, яке зокрема для ситуації небезпечного зближення чотирьох суден при необхідності зміни курсів кожного з них, має вигляд:

$$Q_4^{(\Sigma)} = (\Delta K_1^2 + \Delta K_2^2 + \Delta K_3^2 + \Delta K_4^2) \rightarrow \min$$

$$(K_{n1} + \Delta K_1, K_{n2} + \Delta K_2) \notin S_{D12}, \quad (1)$$

$$(K_{n1} + \Delta K_1, K_{n3} + \Delta K_3) \notin S_{D13}, \quad (2)$$

$$(K_{n1} + \Delta K_1, K_{n4} + \Delta K_4) \notin S_{D14}, \quad (3)$$

$$(K_{n2} + \Delta K_2, K_{n3} + \Delta K_3) \notin S_{D23}, \quad (4)$$

$$(K_{n2} + \Delta K_2, K_{n4} + \Delta K_4) \notin S_{D24}, \quad (5)$$

$$(K_{n3} + \Delta K_3, K_{n4} + \Delta K_4) \notin S_{D34}. \quad (6)$$

Для пошуку оптимальних значень приростів курсу ΔK_1 , ΔK_2 , ΔK_3 і ΔK_4 доцільно вчинити наступним чином. Відзначимо, що в приведеній умові шість виразів вигляду $(K_{ni} + \Delta K_i, K_{nj} + \Delta K_j) \notin S_{Dij}$ еквівалентні умовам $\min D_{ij}(\Delta K_i, \Delta K_j) > D_d$. Враховуючи, що в початковому стані для дистанцій найкоротшого зближення між першим судном і рештою суден справедливі нерівності $\min D_{1j}(\Delta K_1, \Delta K_j) < D_d$ ($j > 1$), тобто, збільшуємо значення приросту курсу ΔK_1 на 1° , і розраховуємо значення $\min D_{1j}(\Delta K_1, \Delta K_j)$ ($j > 1$), порівнюючи їх з гранично допустимою дистанцією D_d . Збільшення приросту курсу ΔK_1 повторюється доти, доки для дистанцій $\min D_{1j}(\Delta K_1, \Delta K_j)$ ($j > 1$) не наступить співвідношення $\min D_{1j}(\Delta K_1, \Delta K_j) \geq D_d$ ($j > 1$).

В цьому випадку приріст курсу ΔK_1 залишається незмінним, а умови (1) – (3) є істинними. Потім відбувається покрокове збільшення приросту курсу ΔK_2 на 1° і проводиться розрахунок дистанцій, $\min D_{23}(\Delta K_2, \Delta K_3)$ і, при цьому стежимо, щоб значення $\min D_{21}(\Delta K_2, \Delta K_1)$ не стало менше гранично допустимій дистанції D_d . Збільшення приросту курсу ΔK_2 припиняється, якщо досягаються співвідношення:

$$\min D_{21}(\Delta K_2, \Delta K_1) \geq D_d,$$

$$\min D_{23}(\Delta K_2, \Delta K_3) \geq D_d,$$

$$\min D_{24}(\Delta K_2, \Delta K_4) \geq D_d.$$

В цьому випадку умови (1)–(5) є істинними, і необхідно зробити істинною останню умову (6):

$$\min D_{34}(\Delta K_3, \Delta K_4) \geq D_d.$$

Таким чином, при фіксованих приростах курсів ΔK_1 і ΔK_2 здійснюється сканування площини, причому якщо виконується умова $\min D_{34}(\Delta K_3, \Delta K_4) \geq D_d$, то маневр з приростами курсів ΔK_1 , ΔK_2 , ΔK_3 і ΔK_4 є безпечним і для цього маневру проводиться розрахунок критерію оптимальності $Q_4^{(\Sigma)} = \Delta K_1^2 + \Delta K_2^2 + \Delta K_3^2 + \Delta K_4^2$. Після закінчення сканування площини $K_3 \times K_4$ значення приросту курсу ΔK_2 збільшується на 1° і процедура сканування площини $K_3 \times K_4$ повторюється з розрахунком для кожної точки безпечного маневру критерію оптимальності з фіксацією оптимальних параметрів маневру.

Зробивши сканування для всіх значень приросту курсу ΔK_2 через 1° , величина ΔK_2 приймає початкове значення, а приріст курсу ΔK_1 збільшується на 1° і для нового незмінного значення ΔK_1 проводиться збільшення ΔK_2 на 1° з подальшим скануванням площини, в процесі якого виявляються безпечні маневри і розраховуються їх критерії оптимальності, а також вибирається маневр з мінімальним критерієм оптимальності.

Після чергового покрокового збільшення приросту курсу ΔK_2 по всіх можливих значеннях з скануванням площини $K_3 \times K_4$ на кожному кроці і відборі оптимального маневру розходження здійснюється послідовне збільшення приросту курсу ΔK_1 по всіх можливих значеннях. Вичерпавши сканування по всіх значеннях ΔK_1 , процес вибору оптимального маневру завершується. Маневр з мінімальним значенням критерію оптимальності $Q_4^{(\Sigma)}$ вибирається як оптимальний маневр розходження.

На рис. 8. представлені результати розрахунку оптимального маневру розходження трьох суден, які показані у вигляді крапок на розширених площинах $K_1 \times K_2$, $K_1 \times K_3$ і $K_2 \times K_3$. Кожна крапка позначена колом з невеликим радіусом. Звертаємо увагу на те, що крапки на всіх трьох розширених площинах знаходяться поза областями небезпечних курсів, проте поряд з їх межею.

В роботі розглянуто варіант програми імітаційного моделювання для групи суден з використанням відображення небезпечних областей курсів для пари суден, причому розглядається група суден кількістю до п'яти включно.

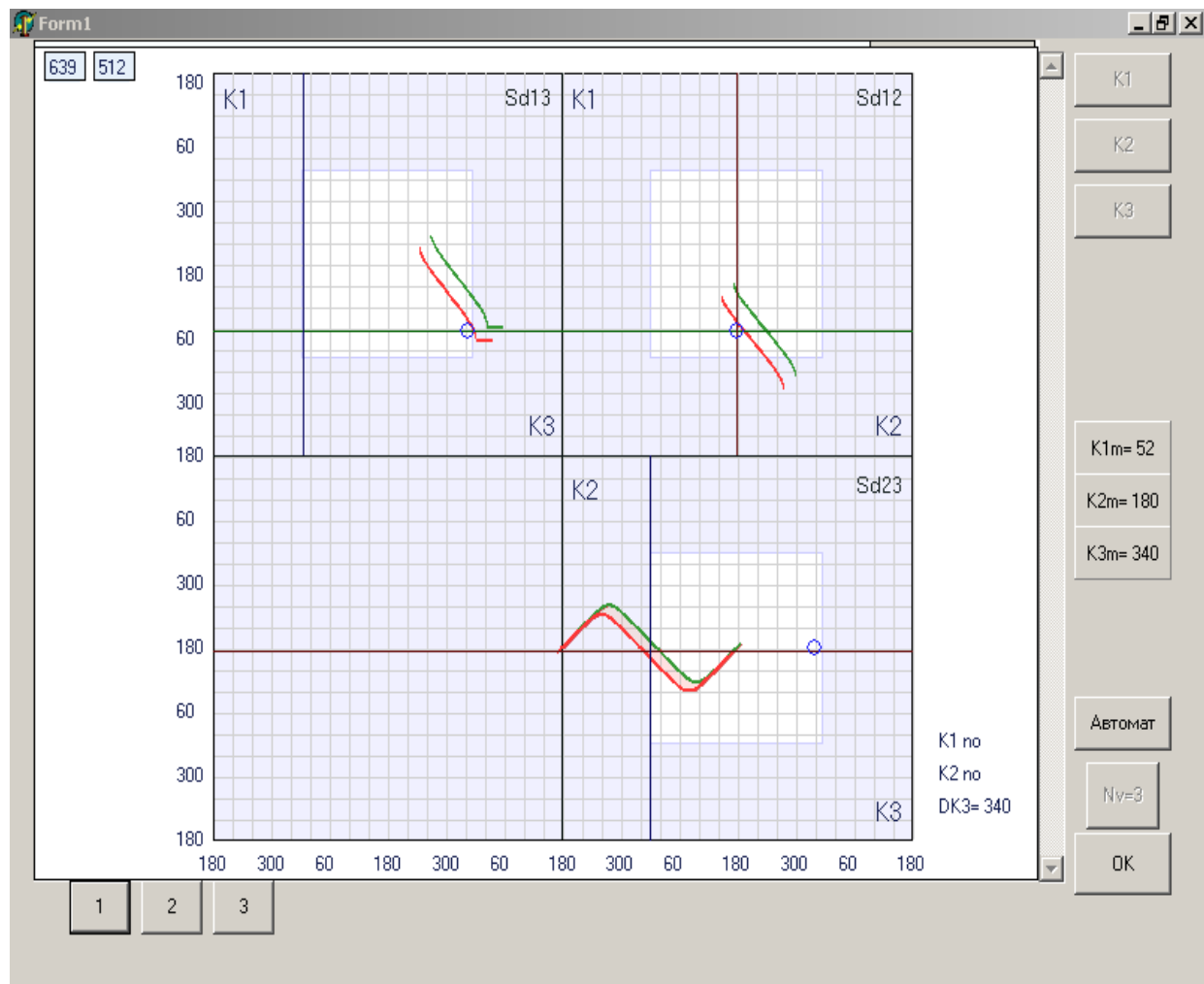


Рисунок 8 – Результати розрахунку маневру розходження трьох суден

Таким чином, в розділі розглянуто спосіб сканування площин з областями небезпечних курсів для вибору маневру розходження. Матеріали розділу опубліковано у роботах [5, 13, 17, 19].

ВИСНОВКИ

Інтенсивне судноплавство і навігаційні небезпеки ускладнюють плавання морських суден в обмежених умовах і створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій.

На даний час обмежені райони плавання з особливо інтенсивним рухом обладнуються станціями управління рухом суден (СУРС), які призначені для контролю процесу судноводіння та управління рухом суден, що небезпечно зближуються. Тому розробка способів управління суднами які небезпечно зближуються, чому присвячена дана робота, є актуальним і перспективним науковим напрямком.

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки нового методу вибору безпечної стратегії розходження групи суден в стислих районах, який відрізняється принципом зовнішнього управління при використанні областей небезпечних курсів суден.

У результаті проведеного наукового дослідження:

- вперше розроблений спосіб аналітичного опису області небезпечних курсів пари суден і відображення її на розширеній площині їх курсів;
- вперше створений графічний спосіб комп'ютерного моделювання для вибору оптимального маневру розходження групи суден зміною їх курсів;
- одержали подальший розвиток методи попередження зіткнення суден розробкою способу сканування площин з областями небезпечних курсів для вибору маневру розходження .

Результати дисертаційного дослідження впроваджено в учбово-тренажерному центрі «Альфа-Треїнінг», в вищому навчальному закладі „Институт последипломного образования” „Одесский морской тренажерный центр”, в науково-дослідній діяльності, а також у навчальних програмах судноводіїв з дисциплін кафедри Судноводіння ОНМА, що підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Цымбал Н.Н. Определение группы взаимодействующих судов в ситуации опасного сближения [Текст] / Цымбал Н.Н., Булгаков М.А., Байрак В.В. // Судовождение. – 2009. - № 16. – С. 193-197.
2. Булгаков А.Ю. Расчет изменения относительного курса в автоматизированных системах принятия решений [Текст] / Булгаков А.Ю. // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2013. № 4 . – С 111 - 114.

3. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения [Текст] / **Булгаков А.Ю.**// Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 12 – 17.
4. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов [Текст] / **Булгаков А.Ю.**, Алексейчук Б.М.// Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. №1 . – С. 75 - 81.
5. Булгаков А.Ю. Выбор маневра расхождения судов изменением курсов в системах управления движением судов [Текст] / **Булгаков А.Ю.**, Пятаков Э.Н.// Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. №4 . – С 153 - 164.
6. Бурмака И.А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов [Текст] / Бурмака И.А, **Булгаков А.Ю.** // Автоматизация судовых технических средств. – 2014. – № – С. 18 – 23.
7. Бурмака И.А. Выбор оптимального вектора управления судами изменением курсов для безопасного расхождения [Текст] / Бурмака И.А, **Булгаков А.Ю.** // Автоматизация судовых технических средств. – 2015. – № – С. 29 – 33.
8. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения [Текст] / Бурмака И.А, **Булгаков А.Ю.** // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9 - 13.
9. Бурмака И.А. Определение области курсов двух судов, обеспечивающих безопасное расхождение [Текст] / Бурмака И.А, **Булгаков А.Ю.** //Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2014. – выпуск 2 (7). – С. 17 - 20.
10. Булгаков А.Ю. Формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов [Текст] / **Булгаков А.Ю.** // Судовождение. – 20013. - № 23. – С. 7-12.
11. Цымбал Н.Н. Формализация множества опасно сближающихся судов [Текст] / Цымбал Н.Н., **Булгаков А.Ю.**// Эффективная и безопасная эксплуатация морских судов и сооружений: Материалы Региональной научно-практической конференции, 23-25 сентября 2009 г.- Севастополь: СевНТУ, 2009.- С. 20-22.
12. Булгаков А.Ю. Определение характеристик управляемой динамической системы судов [Текст] / **Булгаков А.Ю.**// Эффективная и безопасная эксплуатация морских судов и сооружений: Материалы VI Всеукраинской научно-технической конференции, 2-4 октября 2013 г.- Севастополь: СевНТУ, 2013.- С. 126-129.
13. Бурмака И.А. Совершенствование технологии управления движением судов в районах контроля СУДС [Текст] / Бурмака И.А, **Булгаков А.Ю.** // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 21-23 травня 2014 р. – Миколаїв : МУК, 2014. – С. 40–42.

14. Бурмака И.А. Маневр расхождения нескольких судов изменением курсов [Текст] / Бурмака И.А., **Булгаков А.Ю.** // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 20-22 травня 2015 р. – Миколаїв : МУК, 2015. – С. 22–24.
15. Булгаков А.Ю. Влияние изменения курсов судов на относительный курс [Текст] / **Булгаков А.Ю.** // Судноплавание: перевезення, технічні засоби, безпека: Матеріали наук.-метод. конф., 19-20 листоп. 2013 – Одеса : ОНМА, 2013. – С. 80–82.
16. Бурмака И.А. Маневр расхождения нескольких судов изменением курсов [Текст] / Бурмака И.А., **Булгаков А.Ю.** // Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні: Матеріали наук.- метод. конф., 18-19 листоп. 2014 – Одеса : ОНМА, 2014. – С. 107–111.
17. Булгаков А.Ю. Выбор допустимого маневра расхождения двух судов с помощью использования опасной области их курсов [Текст] / **Булгаков А.Ю.**// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2014): Матеріали VI Міжнародної наук.-практ. конф., 27-29 травня. 2014 – Херсон: ХДМА, 2014. – С. 103–106.
18. Бурмака И.А. Определение оптимального вектора управления судами для безопасного расхождения [Текст] / Бурмака И.А., **Булгаков А.Ю.** // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015): Матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 26-28 травня. 2015 – Херсон: ХДМА, 2015. – С. 96–99.
19. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения [Текст] / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., **Булгаков А.Ю.** – Херсон: Гринь Д.С., 2015.-312 с.

АНОТАЦІЯ

Булгаков О.Ю. Розробка методу вибору стратегії розходження суден з використанням областей небезпечних курсів. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом. Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2016 р.

У роботі розроблено спосіб запобігання зіткнення суден з використанням принципів зовнішнього управління маневром вибору курсів ухилення від програмних траєкторій руху.

Одержані аналітичні вирази для розрахунку меж небезпечних областей і процедури їх відображення. Запропоновано спосіб визначення параметрів оптимального маневру розходження за допомогою графічного способу комп'ютерного моделювання, який доцільно застосовувати при чисельності групи до п'яти суден. Вибір оптимального маневру ухилення здійснюється оператором.

Для автоматичного вибору оптимального маневру розходження в роботі запропонований спосіб вибору вектора управління групою суден за допомогою комп'ютерного сканування небезпечних областей парних маневрів.

У роботі проведено імітаційне моделювання запропонованих способів, яке підтвердило їх коректність.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, область небезпечних курсів пари суден, стратегія розходження, імітаційне моделювання.

АННОТАЦІЯ

Булгаков А.Ю. Разработка метода выбора стратегии расхождения судов с использованием областей опасных курсов. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.22.13 – навигация и управление движением. Национальный университет «Одесская морская академия», Одесса, 2016 г.

В работе разработан способ предупреждения столкновения судов с использованием принципов внешнего управления маневром выбора курсов уклонения от программных траекторий движения.

Предложенный способ базируется на применении областей опасных курсов пар опасно сближающихся судов, которые отображают область парных курсов на их расширенной плоскости, ведущих к сближению на дистанции меньшей допустимой.

Получены аналитические выражения для расчета границ опасных областей и процедуры их отображения. Предложен способ определения параметров оптимального маневра расхождения с помощью графического способа компьютерного моделирования, который целесообразно применять при численности группы до пяти судов. В работе рассмотрен вариант компьютерной программы, применяющей указанный способ до пяти судов включительно и отображающей на мониторе только область опасных курсов одной пары опасно сближающихся судов. Выбор оптимального маневра уклонения производится оператором.

Для автоматического выбора оптимального маневра расхождения в работе предложен способ выбора вектора управления группой судов с помощью компьютерного сканирования опасных областей парных маневров.

В работе произведено имитационное моделирование предлагаемых способов, которое подтвердило их корректность.

Ключевые слова: безопасность судовождения, предупреждение столкновения судов, область опасных курсов пары судов, стратегия расхождения, имитационное моделирование.

ANNOTATION

Bulgakov A.Y. Development of method of choice of strategy of divergence of courts with the use of regions of dangerous courses. - 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 maritime academy”, Odessa, 2016.

The method of prevention of collision of vessels with the use of principles of external management by the maneuver of choice of courses of deviation from the programmatic trajectories of motion is developed in work.

Analytical expressions for the calculation of scopes of dangerous regions and procedure of their reflection are got. The method of determination of parameters of optimum maneuver of divergence by the graphic method of computer design, which it is expedient to apply at the quantity of group of to five vessels, is offered. The choice of optimum maneuver of deviation is produced by an operator.

For the automatic choice of optimum maneuver of divergence the method of choice of vector of management by the group of vessels by the computer scanning of dangerous regions of pair maneuvers is offered in work.

The imitation design of the offered methods, which confirmed their correctness, is produced in work.

Keywords: safety of navigator, warning of collision of vessels, region of dangerous courses of pair of vessels, strategy of divergence, imitation design.

Підп. до друку 6.10.2016. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.
Тираж 100 пр. Зам. № И16-10-15

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