

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»  
(НУ «ОМА»)

Пасечнюк Сергій Сергійович



УДК 656.61.052

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ЗАСТОСУВАННЯМ СПІЛЬНОГО  
МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2020

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Бурмака Ігор Олексійович**,  
завідувач кафедри управління судном  
НУ «ОМА»,  
м. Одеса

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Блінцов Володимир Степанович**,  
проректор з наукової роботи Національного  
університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки  
України, м. Миколаїв

кандидат технічних наук, доцент  
**Товстокорий Олег Миколайович**,  
завідувач кафедри управління судном  
Херсонської державної морської академії  
Міністерства освіти і науки України, м. Херсон.

Захист відбудеться 26.01.2021 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 41.106.01 в НУ «ОМА» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань Вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці НУ «ОМА» за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 2 та за електронною адресою: <http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Автореферат розісланий 24.12.2020 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01  
д. т. н., професор



Нікольський В.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Проблема підвищення безаварійності судноводіння являється однією з найбільш важливих проблем безпеки мореплавання, бо вона впливає на охорону людського життя на морі і екологічний стан навколишнього середовища.

Інтенсивне судноплавство та навігаційні небезпеки ускладнюють плавання морських суден в стислих водах та сприяють появі аварійних ситуацій, які в стислих водах характеризуються швидкоплинними змінами. Така особливість плавання в стислих водах вимагає розробки сучасних оперативних та наглядних у використанні методів оцінки ситуації зближення та вибору маневрів розходження, чого можна досягти використанням комп'ютерних інформаційних технологій. Таким чином, розробка сучасних засобів оперативного зовнішнього управління процесом розходження суден, чому присвячена дана дисертаційна робота, є актуальним науковим напрямом.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалася відповідно до 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), положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), а також згідно з планами наукових досліджень національного університету «Одеська морська академія» за держбюджетною темою «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» (№ ДР 0115U003580, 2018 р.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційного дослідження стало підвищення безпеки судноводіння шляхом вдосконалення методів розходження суден.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження стала теза про існування можливості зменшення ризику зіткнення суден застосуванням сумісного маневру розходження зміною курсу одного судна і зниженням швидкості інших.

Головна задача дослідження полягала в удосконаленні методу вибору безпечних сумісних маневрів розходження суден з допомогою областей неприпустимих значень їх параметрів руху.

Для спрощення вирішення головної задачі дисертації її було розділено на три допоміжні задачі:

- дослідження чинників, що впливають на формування області небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна за МППЗС 72;
- вибір безпечного маневру розходження при зовнішньому управлінні;
- визначення безпечного сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик.

**Об'єктом дослідження** дисертації є процес розходження суден.

**Предметом дослідження** – методи вибору безпечного маневру розходження суден.

**Методи дослідження.** Для пошуку рішень поставлених задач у дисертаційному дослідженні були використані наступні методи:

- дедукції – при здійсненні інформаційного пошуку основних напрямів вирішення проблеми безпеки судноводіння;
- експертне оцінювання – для визначення теми дисертаційної роботи;
- системний підхід – при рішенні головної та допоміжних задач, формуванні структури методологічного забезпечення і технології наукового дослідження;
- математичний аналіз – для одержання рівнянь руху судна і визначення взаємної залежності параметрів руху суден та формування відповідних областей неприпустимих значень параметрів;
- аналітична геометрія – для формалізації межі області небезпечних значень курсів одного судна і швидкостей іншого судна.
- ідентифікація та верифікація – при здійсненні експериментів з розходження суден.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в удосконаленні методу визначення безпечного маневру розходження суден при їх зовнішньому управлінні, який реалізований комп'ютерною програмою, і відрізняється застосуванням області небезпечних значень курсу одного судна і швидкості іншого за наявності третього судна, що заважає.

У дисертаційній роботі:

- удосконалено спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей пари суден з урахуванням співвідношення їх швидкостей при локально-незалежному управлінні;
- удосконалено спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей пари суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик;
- отримала подальший розвиток процедура визначення параметрів сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх динаміки.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що створені математичні та комп'ютерна програма, які можуть бути впроваджені в системах управління рухом суден для попередження зіткнень, швидко використані при створенні навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління суднами, а також під час підготовки судноводіїв.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені крюїнговою компанією «Даніка Україна» при перепідготовці та підвищенні кваліфікації командного складу судноводіїв (акт впровадження від 11.09.2019 р.).

Матеріали дисертаційного дослідження ввійшли складовою частиною в заключний звіт по науково-дослідній роботі «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» НУ «ОМА», Одеса 2018. (акт від 20.02.2019 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Здобувач самостійно виконав дисертаційну роботу: він виявив найбільш важливі аспекти вирішення проблеми підвищення безпеки судноводіння та детально проаналізував їх, ним проведено інформаційний пошук в цьому напрямку та обґрунтовано методологічне забезпечення дисертаційного дослідження, дисертант запропонував і виклав спосіб визначення спільного маневру розходження суден при зовнішньому управлінні з урахуванням третього судна, що заважає, він також розробив алгоритми формування

комп'ютерної програми розрахунку спільного безпечного маневру розходження, здобувачем проведено імітаційне комп'ютерне моделювання процесу розходження суден, ним результати дисертаційного дослідження впроваджені в виробничий процес. В дисертації з 15 наукових праць, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті положення, які належать автору особисто: урахування наявності другої цілі в стандартній ситуації небезпечного зближення [7], формування спільних стратегій розходження методами зовнішнього управління [9, 14], використання областей неприпустимих значень параметрів руху суден для оцінки ситуації зближення суден [1, 2, 85, 86], урахування динамічних характеристик поворотності судна при формуванні області неприпустимих значень параметрів руху суден [3, 5], перевірка статистичних гіпотез законів розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань [4, 11, 12], процедура розрахунку межі області неприпустимих значень параметрів курсу одного судна та швидкості іншого [6], залежність істотного параметру змішаних законів розподілу похибок навігаційних вимірювань від терміну формування вибірки похибок [13].

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

науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопада 2016 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 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.), XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 вересня 2017 р.), XXX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 15 грудня 2017 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопада 2017 р.) .

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 15 наукових праць (з них 3 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 3 наукових статті [4-6]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 6 наукових статей [1, 2, 7-10]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 5 доповідей [11 –15].

**Структура роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (111 найменування) і трьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 282 сторінки і містить 93 рисунки та 9 таблиць, зокрема: 183 сторінки основного тексту, 13 сторінок списку використаних джерел, 86 сторінок додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ** дисертаційної роботи містить актуальність теми дисертації, її зв'язок із державними програмами наукових досліджень та університету, об'єкт та предмет

дослідження, мету дисертаційного дослідження, а також головну задачу, робочу гіпотезу, три допоміжні задачі, методи їх дослідження, наукову новизну, практичне значення, особистий внесок здобувача, публікації та структура роботи.

У **першому розділі**, здійснено огляд літературних джерел з подальшою оцінкою основних аспектів вирішення проблеми зниження аварійності суден.

В результаті проведеного огляду було виявлено три напрямки рішення проблеми безпеки судноплавства: вдосконалення прогнозу та планування маневрів, методів попередження зіткнень суден при зовнішньому управлінні процесом розходження, подальше використання процедур та способів оперативного визначення параметрів маневру розходження.

**Другий розділ** присвячено вибору, обґрунтуванню теми дисертації, визначенню об'єкта та предмета дослідження.

У подальшому сформовано технологічну карту дисертаційного дослідження за допомогою методів системного підходу, в якій відображені мета, головна та допоміжні задачі, його робоча гіпотеза та методи досліджень.

У **третьому розділі** приведені результати рішення перших двох допоміжних задач – дослідження чинників, які впливають на формування області небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна та вибору безпечного маневру розходження.

При вирішенні першої допоміжної задачі розглянуто ситуативне збурення у разі небезпечного зближення суден і оцінка його рівня безпеки та показано, що при зближенні декількох суден використовується матриця ситуативного збурення. Проаналізовані типи управління процесом розходження суден при небезпечному зближенні. Показано, що класичним типом управління процесом розходження є локально-незалежне управління, яке передбачає застосування системи бінарної координації, що в даний час реалізована в МППЗС-72.

Проведено дослідження впливу стохастичних похибок вимірювань пеленга і дистанції судна на параметри маневру розходження, враховуючи вплив похибок на величину гранично - допустимої дистанції зближення та показано, що величина її стохастичної складової залежить від закону розподілу векторіальної позиційної похибки.

У завершення підрозділу приведені результати натурних спостережень похибок вимірювання пеленга і дистанції. Показано, що похибки підлегли змішаним законам першого і другого типу. Приведені вибірки похибок і побудовані відповідні гістограми.

Для цього типу систем управління процесом розходження суден запропоновано спосіб оцінки ситуації зближення пари суден.

Науковим результатом рішення першої допоміжної задачі стало встановлення доцільності розробки процедури формалізації області небезпечних курсів і швидкостей пари суден при локально-незалежному управлінні їх процесом розходження, що значно розширить можливості безпечного розходження суден в ситуації небезпечного зближення.

Рішення другої допоміжної задачі – вибір безпечного маневру розходження при зовнішньому управлінні.

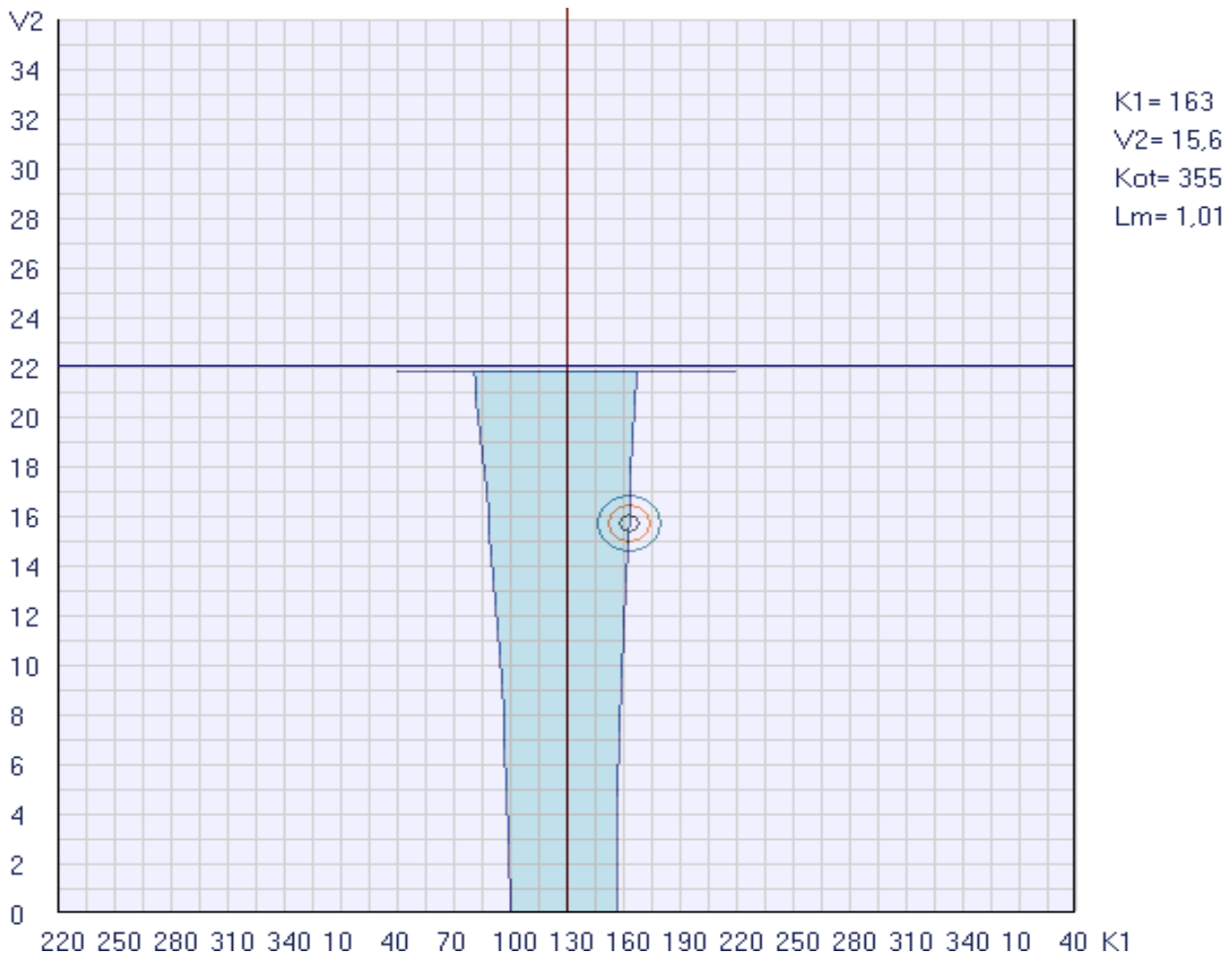


Рисунок 1 – Область  $\Omega_{KVj}$  при пасивному гальмуванні другого судна

Принцип повного зовнішнього управління застосовують системи управління рухом суден для їх розходження.

За ситуації, коли розходження суден зміною курсів ускладнено та показано, що може бути використана область небезпечних швидкостей суден для вибору маневру розходження зміною їх швидкостей, розглянуто спосіб формування області небезпечних швидкостей і її застосування для аналізу ситуації зближення суден і, у разі потреби на зовнішнє управління.

Зазвичай існує дві межі області небезпечних курсів одного судна і швидкостей іншого судна  $\Omega_{KV}$ , при поєднанні яких дистанція найкоротшого зближення менша гранично - допустимої дистанції, тобто досягається рівність  $\min D = d_d$  і зближення суден є небезпечним. Межі області  $\Omega_{KV}$  представлені залежністю швидкості другого судна  $V_2$  від курсу першого судна  $K_1$  і мають наступний аналітичний вираз:

$$V_2^{(1)} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})],$$

$$V_2^{(2)} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})],$$

де  $\alpha$  і  $D$  - початкові пеленг та дистанція між суднами;

$V_1$  і  $K_2$  - швидкість першого судна і курс другого судна;

$d_d$  - гранично - допустима дистанція зближення.

В разі, коли  $V_1 \geq V_{2n}$  межі області  $\Omega_{KV}$  існують для всіх значень курсу  $K_1$ , а при  $V_1 < V_{2n}$  існують обмеження:

$$K_1 \in [\gamma^{(1,2)} - \frac{\pi}{2}, \gamma^{(1,2)} + \frac{\pi}{2}] \text{ і } V_2 \in [0, \frac{V_1}{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}].$$

Якщо крапка з початковими параметрами руху суден знаходиться між першою і другою межами області  $\Omega_{KV}$ , тобто  $(K_{n1}, V_{2n}) \in \Omega_{KV}$ , то має місце нерівність  $\min D(K_{n1}, V_{2n}) < d_d$ , і зближення суден є небезпечним. В цьому випадку для безпечного розходження необхідно вибрати параметри ухилення суден  $K_{1y}$  і  $V_{2y}$ , так, щоб відповідна їм крапка  $(K_{1y}, V_{2y})$  знаходилася на найближчій до крапки  $(K_{n1}, V_{2n})$  межі області і відстань між цими крапками була мінімальною.

Для формування області  $\Omega_{KV}$  і її графічного відображення була розроблена комп'ютерна програма, що враховує співвідношення початкових швидкостей суден  $V_1$  і  $V_{2n}$ .

У випадку  $V_1 > V_{2n}$  існують значення  $K_1$  для обох меж, а область  $\Omega_{KV}$  небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна між першою і другою межами виглядає, як показано на рис. 1, причому область  $\Omega_{KV}$  сформовано для ситуації небезпечного зближення суден з параметрами:  $\alpha=130^\circ$ ,  $D=3$  милі,  $K_1=130^\circ$ ,  $V_1=22$  вузла,  $K_2=315^\circ$ ,  $V_2=18$  вузлів,  $d_d=1$  миля.

В разі урахування інерційності повороту першого судна і інерційно-гальмівних характеристик другого судна одержимо область  $\Omega_{KVf}$ , формування меж якої припускає для кожного курсу  $K_{1y}$  першого судна визначити швидкість гальмування другого судна  $V_{2y}$ , при якій судна розійдуться на дистанції найкоротшого зближення  $D_{\min}$  рівної гранично допустимій дистанції  $d_d$ . При розрахунку швидкості гальмування другого судна передбачається зниження його швидкості до значення  $V_{2y}$ , а потім проходження з цією швидкістю до моменту часу найкоротшого зближення, після чого друге судно збільшує швидкість до початкового значення.

У загальному випадку спосіб визначення кожної точки  $(K_{1y}, V_{2y})$  межі області  $\Omega_{KVf}$  полягає в наступному. Передбачається, що маневри обох суден починаються в нульовий момент часу. Визначається момент часу закінчення повороту  $t_{yk}$  першого



судна і приросту його координат за час повороту з урахуванням динамічної моделі обертального руху. У цей момент часу визначаються поточні значення координат суден, пеленг і дистанція між ними. Для визначення приросту координат другого судна визначається швидкість  $V_{2t}(t_{yk})$  на момент часу  $t_{yk}$ , потім середня швидкість  $V_{2m} = V_2 + [V_{2t}(t_{yk}) - V_2]/2$  і пройдена відстань, що зменшується  $S_{2m} = V_{2m}t_{yk}$ .

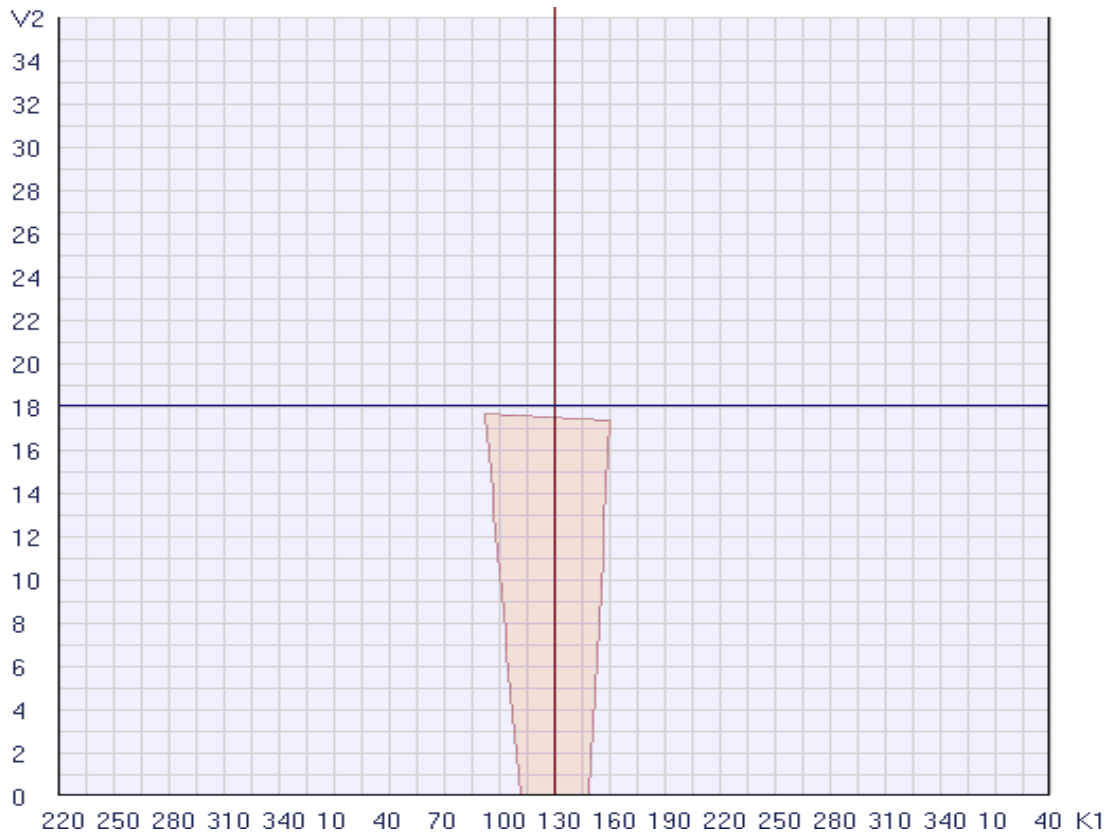


Рисунок 2 – Область  $\Omega_{KV}$  небезпечних параметрів руху суден при  $V_1 > V_{2n}$

По значеннях  $K_{1y}$ ,  $V_1$ ,  $K_2$  і  $V_{2t}(t_{yk})$  визначається відносний курс і дистанція найкоротшого зближення. Якщо вона менше гранично - допустимої дистанції, то значення швидкості другого судна зменшується до значення  $V_{2y} = V_{2t}(t_{yk}) - 0,1$ , для якого визначаються тривалість перехідного процесу, пройдена відстань, поточні значення координат, пеленг, дистанція, відносний курс і дистанція найкоротшого зближення  $D_{min}$ . Одержана дистанція найкоротшого зближення порівнюється з гранично - допустимою дистанцією  $d_d$ . Якщо  $D_{min} < d_d$ , то величина  $V_{2y}$  знову зменшується на 0,1 вузла і знаходиться  $D_{min}$ , яка порівнюється з  $d_d$ .

Зменшення швидкості  $V_{2y}$  з кроком 0,1 вузла проводиться до тих пір, поки не досягається рівність  $D_{min} = d_d$ . У разі, коли при всіх  $V_{2y} \geq 0$  вказана рівність не досягається, виконання маневру розходження зниженням швидкості другого судна неможливе. Тому для перевірки можливості безпечної розходження даним маневром слід визначити дистанцію найкоротшого зближення для повної зупинки другого судна.

Науковим результатом рішення другої допоміжної задачі стали способи формування небезпечних областей руху судна на дистанцію найкоротшого зближення.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [6, 11-14].

**В четвертому розділі** представлені результати рішення третьої допоміжної задачі – визначення безпечного сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик.

Розглянемо особливості формування межі області  $\Omega_{KVf}$  при активному і пасивному гальмуванні другого судна в процесі маневру розходження. Для кожного з курсів ухилення першого судна управо, що належить інтервалу  $[K_1 + 30, K_1 + 70]$ , тобто  $K_{1y}^{(s)} \in [K_1 + 30, K_1 + 70]$ , визначається можливість безпечної розходження зупинкою другого судна активним або пасивним гальмуванням. Для цього вважається, що гальмування другого судна починається в нульовий момент часу, як і початок повороту першого судна на курс ухилення  $K_{1y}^{(s)}$ .

Незалежно від режиму гальмування другого судна інтервал часу повороту першого судна  $\tau_1$  і приросту його координат за час повороту оцінюється за допомогою динамічної моделі обертального руху. У першому наближенні скористаємося моделлю повороту судна з постійною кутовою швидкістю:

$$\tau_1 = \Delta K / a_{\omega},$$

де  $\Delta K$  - приріст курсу судна, причому  $\Delta K = K_{1y}^{(s)} - K_1$ ;

$a_{\omega}$  - кутова швидкість повороту.

Приріст координат  $\Delta x_0$  і  $\Delta y_0$  першого судна за час маневрування  $\tau_1$  визначається наступними виразами:

$$\Delta x_0 = \frac{V_0}{a_{\omega}} (\cos K_1 - \cos K_{1y}^{(s)}), \quad \Delta y_0 = \frac{V_0}{a_{\omega}} (\sin K_{1y}^{(s)} - \sin K_1).$$

Після визначення приросту координат першого судна в результаті повороту для початкової швидкості другого судна  $V_2$  і режиму гальмування (активного або пасивного) розраховується вибіг судна  $S$  і інтервал часу  $\tau_2$  до зупинки судна. Координати першого  $X_1, Y_1$  і другого  $X_2, Y_2$  суден на момент часу зупинки другого судна приймають значення:

$$\begin{aligned} X_2 &= S \sin K_2, \quad Y_2 = S \cos K_2, \\ X_1 &= D \sin \alpha - V_1 \tau_2 \sin K_1 - \Delta x_0, \\ Y_1 &= D \cos \alpha - V_1 \tau_2 \cos K_1 - \Delta y_0, \end{aligned}$$

де  $\alpha$  - початковий пеленг з другого судна на перше;

$D$  - дистанція між суднами.

На момент часу зупинки другого судна дистанція між суднами  $D_f$  визначається виразом:

$$D_f = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}.$$

Порівнюємо одержану дистанцію  $D_f$  з гранично - допустимою дистанцією зближення  $D_d$ . Якщо  $D_f < D_d$ , то розходження зупинкою другого судна неможлива, і точка межі області  $\Omega_{KVj}$  з координатами  $(K_{1y}^{(s)} V_2)$  не існує. Інакше ( $D_f > d_d$ ) розраховуємо дистанцію найкоротшого зближення першого судна з другим судном, що зупинилося,  $D_{\min f}$ :

$$D_{\min f} = \left| D_f \sin[\alpha_f - K_{1y}^{(s)}] \right|,$$

де  $\alpha_f$  - пеленг на друге судно у момент його зупинки.

Якщо  $D_{\min f} > D_d$ , то можливе розходження зниженням швидкості другого судна до певного значення  $V_{2y}$ , при якому виконується рівність:

$$D_{\min f}(V_{2y}) = D_d.$$

Значення швидкості  $V_{2y}$  розраховується методом послідовних наближень, в якому швидкість гальмування другого судна приймається рівною  $V_{2y} = V_2 - 0,1i$  на кожному  $i$ -му циклі обчислень. Тривалість перехідного процесу  $\tau(V_{2y})$  і пройдена за цей час відстань  $S(V_{2y})$  для активного гальмування розраховуються за допомогою наступних виразів:

$$\tau(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} \left[ \arctg\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_2\right) - \arctg\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{2y}\right) \right],$$

$$S(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{2y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right|,$$

де  $(1+k)m$  - маса другого судна з приєднаними масами води;

$P$  - упор його гвинта;

$\mu$  - коефіцієнт опору.

У разі пасивного гальмування використовуються вирази:

$$\tau(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{\mu V_2} \left( \frac{V_2}{V_{2y}} - 1 \right), \quad S(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2}{V_{2y}^2} \right|.$$

Процес обчислень продовжується до тих пір, поки не наступає рівність:

$$D_{\min f}(V_{2y}) = D_d.$$

Таким чином розраховуються точок межі для всіх курсів  $K_{1y}^{(s)}$  ухилення першого судна  $K_{1y}^{(s)} \in [K_1 + 30, K_1 + 70]$ . Аналогічно проводиться розрахунок межі області  $\Omega_{KVj}$  для курсів ухилення судна вліво.

Для формування області  $\Omega_{KVj}$  небезпечних курсів одного судна і швидкостей другого судна з урахуванням інерційно - гальмівних характеристик другого судна була розроблена комп'ютерна програма, що реалізовує запропонований в роботі алгоритм розрахунку межі області.

Як приклад була розглянута ситуація небезпечного зближення суден з параметрами:  $\alpha=130^\circ$ ,  $D=3$  милі,  $K_1=130^\circ$ ,  $V_1=22$  вузла,  $K_2=315^\circ$ ,  $V_2=18$  вузлів,  $D_d=1$  миля. Для приведеної ситуації небезпечного зближення суден на рис. 2 показана область  $\Omega_{KVj}$  при зниженні швидкості другого судна пасивним гальмуванням, причому вибрана стратегія розходження суден з параметрами  $K_{1y}^{(s)}=163^\circ$  і  $V_{2y}=15,6$  вузла (точка межі показана концентричними колами), які забезпечують найкоротшу дистанцію розходження  $D_{\min f}=1,01$  милі.

При ухиленні першого судна управо на  $33^\circ$  для безпечної розходження другим судном потрібно понизити швидкість пасивним гальмуванням на 6,4 вузли.

Науковим результатом рішення третьої допоміжної задачі став спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей суден з урахуванням інерційно - гальмівних характеристик судна при визначені безпечної сумісного маневру розходження.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [3, 5, 8, 10, 15].

У **п'ятому розділі** представлені результати рішення головної задачі – вдосконалення методів розходження суден шляхом безпечної маневру розходження двох суден при наявності третього, що заважає.

В першому підрозділі представлена імітаційна комп'ютерна програма, в якій передбачено можливість вибору маневру розходження методом зниження швидкості судна активним гальмуванням і зміною курсу іншого судна (цілі).

Надалі проводилося імітаційне моделювання процесу розходження в ситуаціях наявності третього судна, що заважає. Як приклад була вибрана ситуація зближення трьох суден, графічне відображення якої показане на рис. 3. Область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, що виконує активне гальмування, приведена на рис. 4. За допомогою небезпечної області вибрано маневр розходження безпечний для всіх трьох суден, що видно з того ж рис. 4.

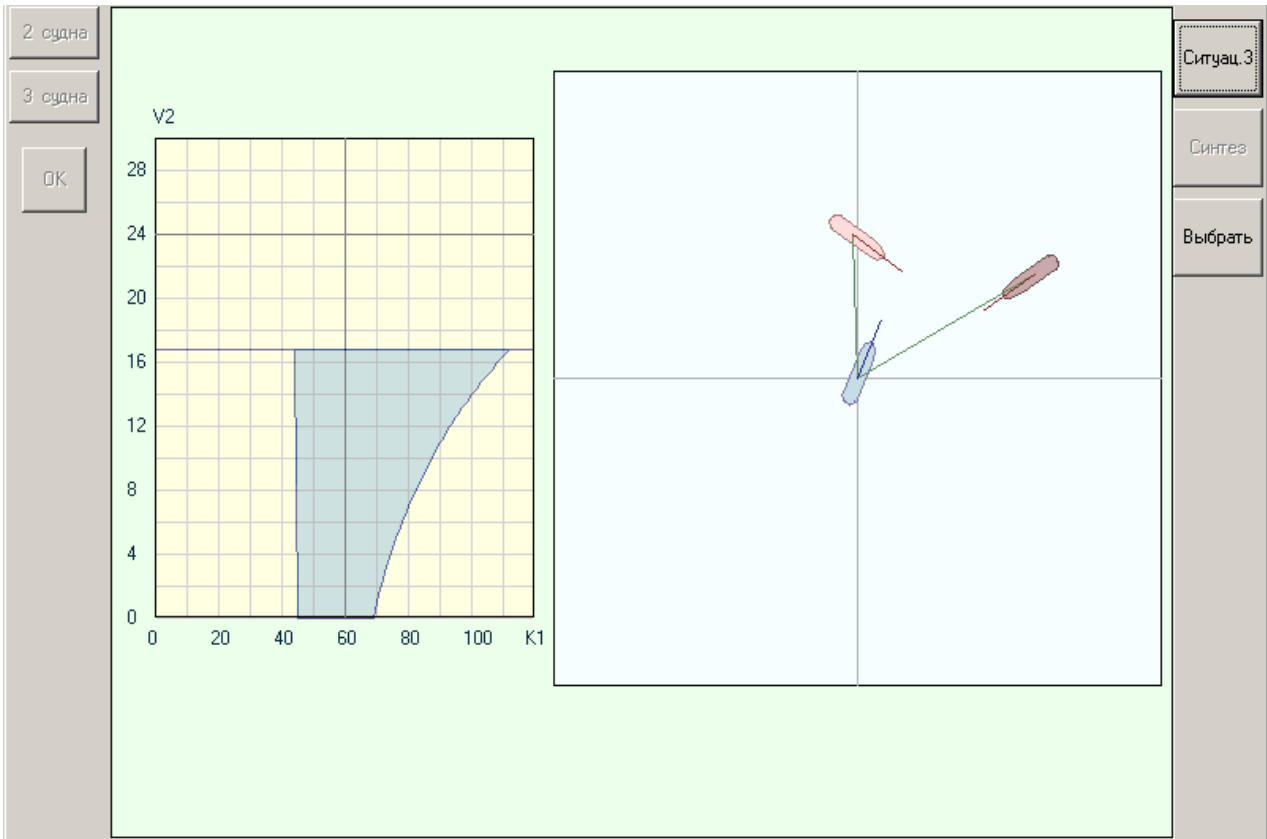


Рисунок 3 – Ситуація зближення трьох суден

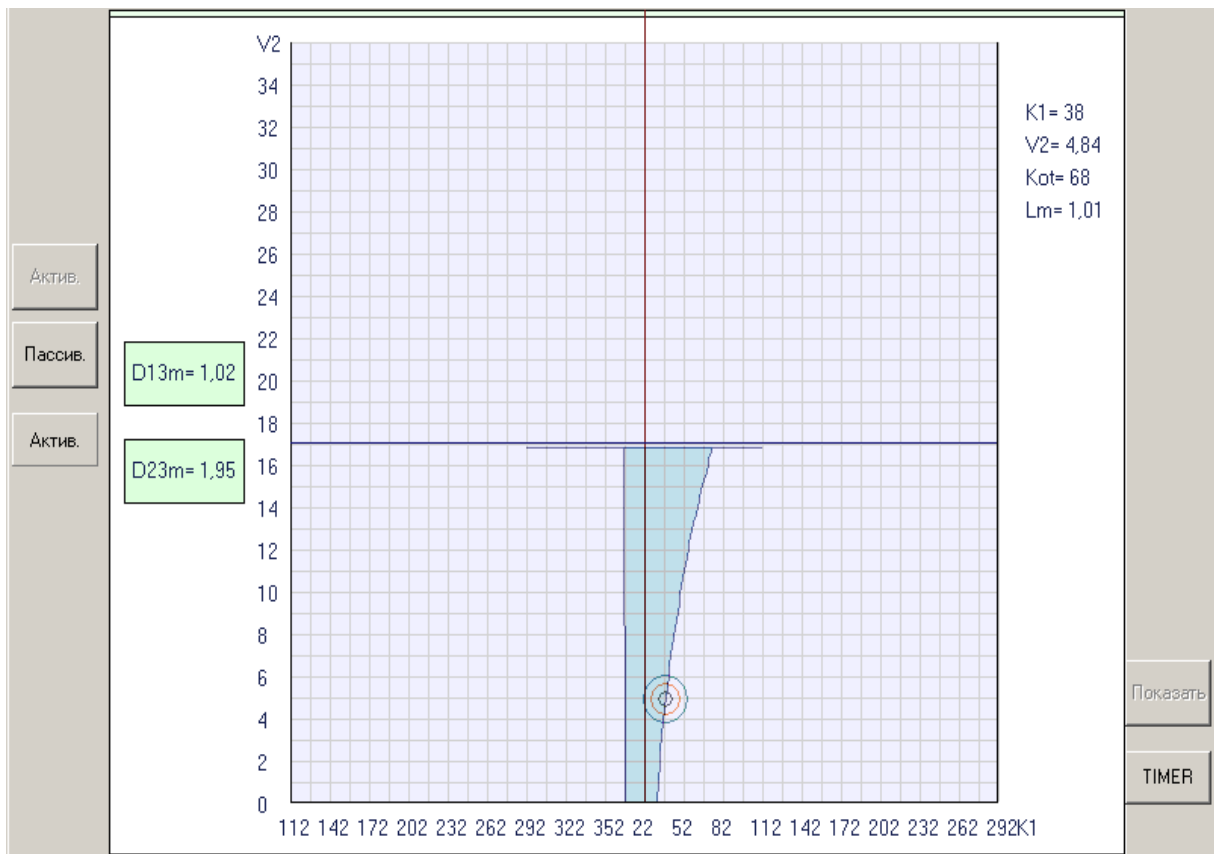
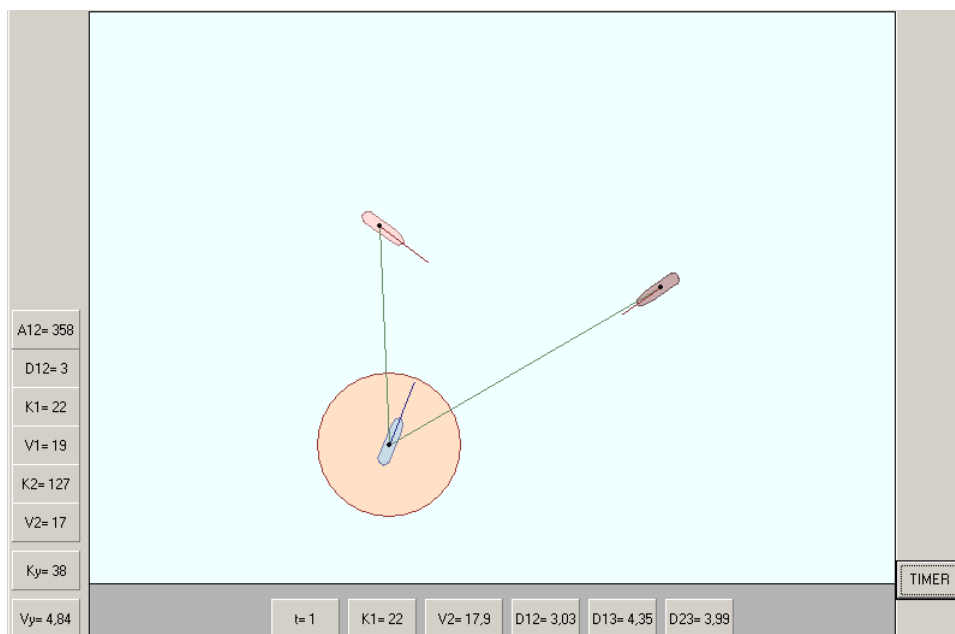
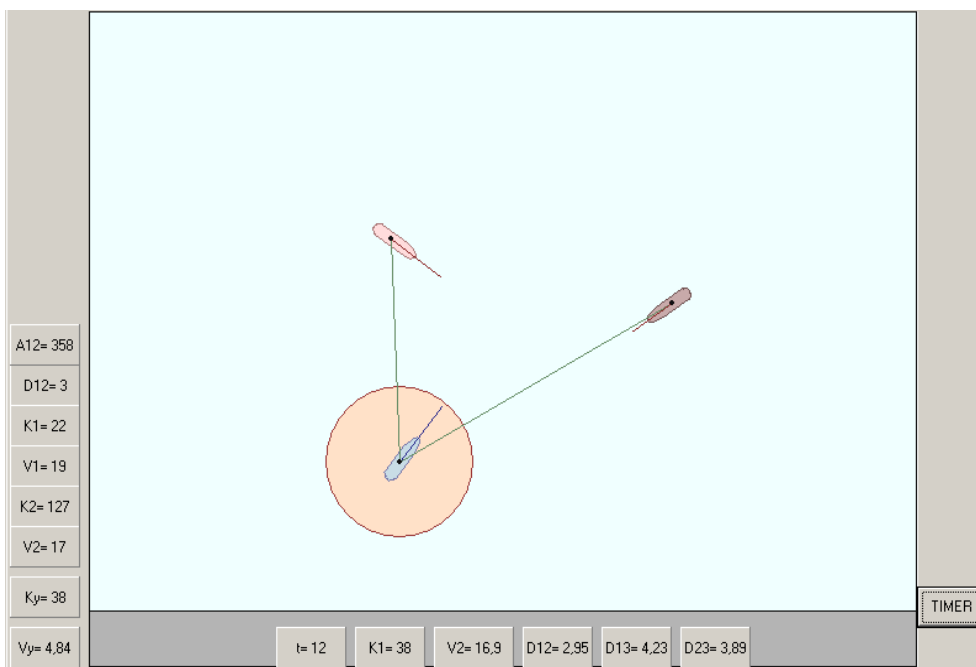


Рисунок 4 – Вибір безпечного маневру розходження трьох суден

В конкретній ситуації початковий момент процесу розходження відображений на рис. 5, а. Перше судно починає поворот для ухилення на курс  $38^\circ$ , друге ж судно починає активне гальмування для зниження швидкості. За момент часу 12 секунд перше судно завершує поворот і далі не міняє свій курс до завершення маневру розходження, що відображене на рис. 5, б.



а)

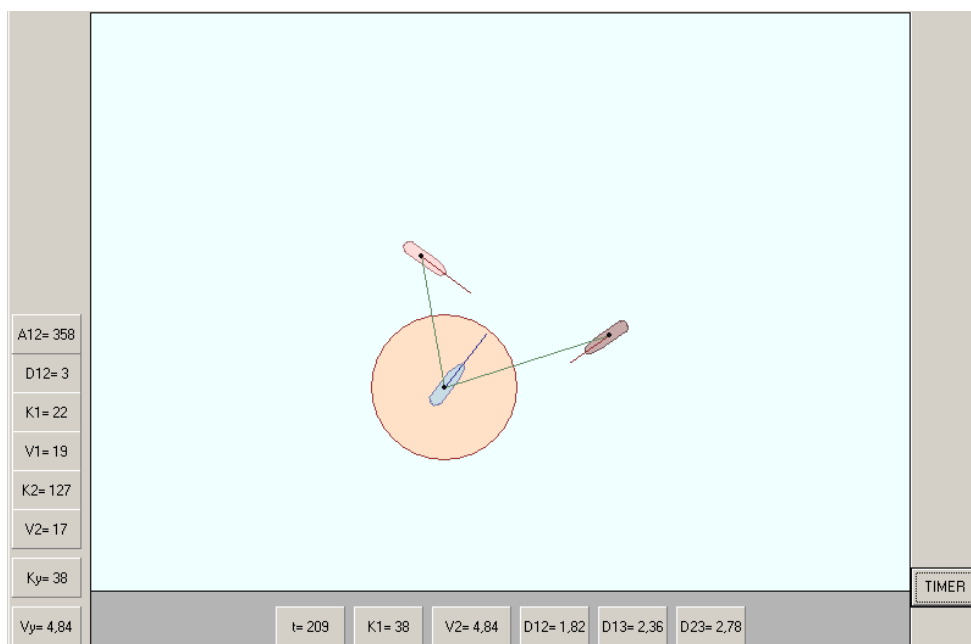


б)

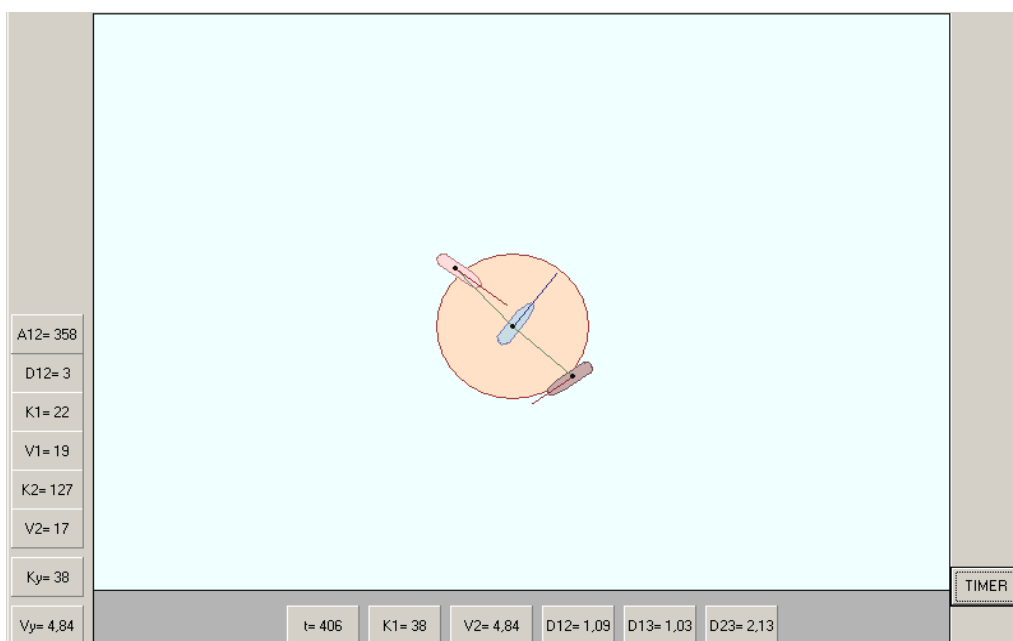
Рисунок 5 – Початок процесу розходження (а);  
закінчення повороту першого судна (б)

Друге судно продовжує активне гальмування до моменту часу 209 с, як показано на рис. 6, а, після чого утримує незмінну швидкість 4,8 вузли.

Найкоротше зближення першого і третього суден відбувається на 406 с процесу розходження, як показано на рис. 6, б, і дистанція між суднами складає біля однієї милі, що свідчить про безпечне розходження першого і третього суден. Незабаром на 465 с процесу розходження відбувається найкоротше зближення першого і другого суден на дистанції однієї милі, що передбачалося маневром (рис. 7, а). Розходження першого і другого суден також проходить безпечно, оскільки дистанція найкоротшого зближення дорівнює гранично - допустимій дистанції зближення. Надалі перше судно віддаляється від другого і третього суден, які продовжують зближуватися.

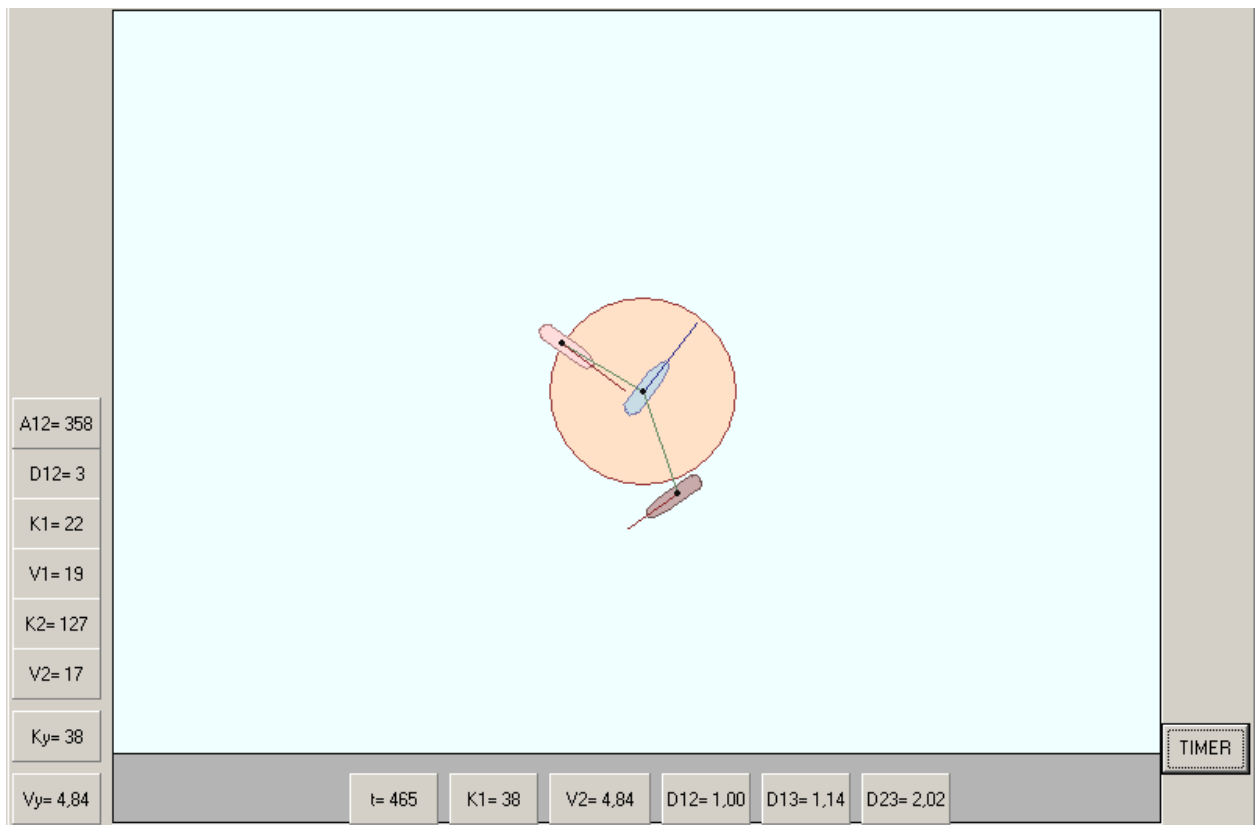


а)

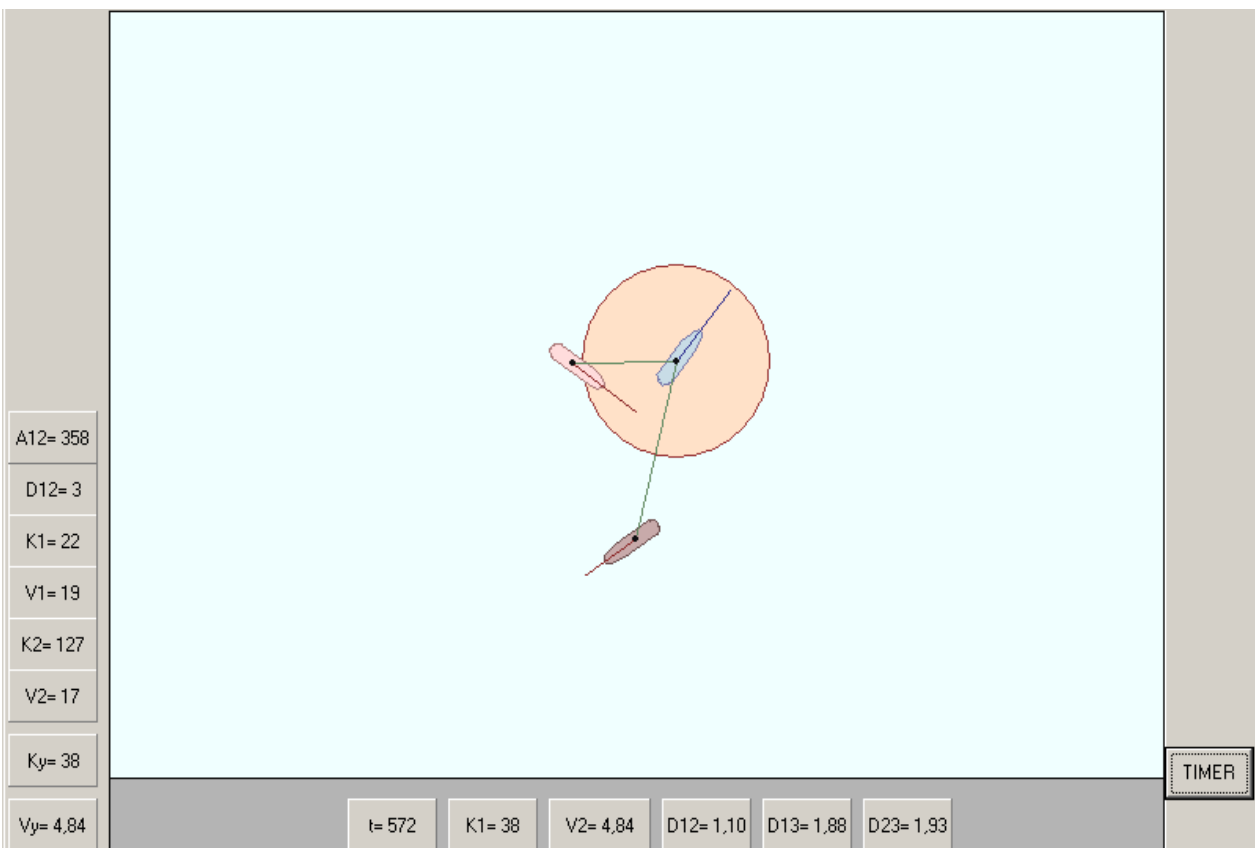


б)

Рисунок 6 – Закінчення активного гальмування другим судном (а); найкоротше зближення першого і третього суден (б)



a)



б)

Рисунок 7 – Найкоротше зближення: а – першого і другого суден;  
б – другого і третього суден



Нарешті, на 572 с процесу розходження досягається найкоротше безпечно зближення другого і третього суден на дистанцію більше милі (рис. 7, б).

Для підтвердження коректності запропонованого методу визначення параметрів сумісного маневру розходження, під час плавання судна в реальній ситуації небезпечного зближення з іншим судном (ціллю) пропонуваним методом були розраховані параметри розходження зниженням швидкості судна активним гальмуванням і зміною курсу цілі. При розходженні судна з ціллю визначеним маневром дистанція найкоротшого зближення виявилася однаковою з її завданим значенням, чим було верифіковано вірність розрахунків.

В результаті змішаного управління судном з використанням імітаційного моделювання параметри маневру розходження з урахуванням руху судна, що заважає, визначені коректно, а сам процес верифікований професійно.

Науковим результатом рішення головної задачі стало вдосконалення методу автоматичного вибору безпечного маневру розходження при наявності третього судна, що заважає та приведено результати його імітаційного моделювання.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [1, 2, 7, 9].

## ВИСНОВКИ

Інтенсивне судноплавство та навігаційні небезпеки ускладнюють плавання морських суден в стислих водах та сприяють появі аварійних ситуацій, які характеризуються швидкоплинними змінами. Ця особливість плавання в стислих водах вимагає розробки сучасних оперативних та наглядних у використанні методів оцінки ситуації зближення та вибору маневру розходження, чого можна досягти використанням комп'ютерних інформаційних технологій.

У дисертації одержано теоретичне узагальнення і нове вирішення головної задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом удосконалення методу визначення безпечного маневру розходження трьох суден при їх змішаному управлінні, що реалізовано в формалізованій формі, який відрізняється застосуванням області небезпечних значень курсу одного судна і швидкості іншого за наявності третього судна, що заважає.

У дисертаційній роботі:

- удосконалено спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей пари суден з урахуванням співвідношення їх швидкостей при локально-незалежному управлінні;

- удосконалено спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей пари суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик;

- отримала подальший розвиток процедура визначення параметрів сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх динаміки.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені крюїнговою компанією «Даніка Україна» при перепідготовці та підвищенні кваліфікації командного складу судноводіїв (акт впровадження від 11.09.2019 р.).

Матеріали дисертаційного дослідження ввійшли складовою частиною в заключний звіт по науково-дослідній роботі «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» НУ «ОМА», Одеса 2018. (акт від 20.02.2019 р.).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения / Бурмака И.А., **Пасечнюк С. С.**, Кулаков М. А. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск. – 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 – 81.
2. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении / Бурмака И.А., Кулаков М.А., **Пасечнюк С.С.** // East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1. – С. 40 – 48.
3. Калиниченко Г. Е. Учет динамических характеристик судов при формировании области их опасных курсов / Калиниченко Г. Е., **Пасечнюк С.С.** // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 28 – 34.
4. Алексейчук Б.М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений /Алексейчук Б.М., **Пасечнюк С.С.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 10 – 15.
5. Калиниченко Г. Е. Формирование области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик/ Калиниченко Г.Е., **Пасечнюк С.С.** // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 44 – 51.
6. Бурмака И.А. Формализация области опасных курсов и скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Бурмака И.А., **Пасечнюк С.С.** // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, - 2018. - Вып. 28. – С. 16 – 23.
7. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э.Н., **Пасечнюк С.С.**, Омельченко Т.Ю // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 97 – 101.
8. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения / Пасечнюк С.С. // Austria - science, Issue: 16, 2018. – С. 38 – 44.
9. Бурмака И.А. Выбор совместной стратегии расхождения судов изменением параметров движения при их внешнем управлении. / Бурмака И.А., **Пасечнюк С.С.** // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 41 – 45.
10. Пасечнюк С.С. Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения/ Пасечнюк С.С. // East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. – С. 25 – 30.
11. Алексейчук Б.М. Определение законов распределения погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., **Пасечнюк С.С.** // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса: ОНМА, 2016. – С. 52 – 53.
12. Алексейчук Б.М. Проверка статистических гипотез распределения

погрешностей измерения навигационных параметров/ Алексейчук Б.М., **Пасечнюк С.С.** // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали ІХ Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 78 – 80.

13. Алексейчук Б.М. Влияние длительности формирования выборки на закон распределения вероятностей погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е., **Пасечнюк С.С.** // 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. 23 – 25.

14. Бурмака И.А. Внешнее управление процессом расхождения судов с помощью области их опасных курсов и скоростей. / Бурмака И.А., **Пасечнюк С.С.** // Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, авторматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – С. 139 – 142.

15. Пасечнюк С.С. Использование графического отображения области недопустимых значений параметров движения судов при их сближении / Пасечнюк С.С.//Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): Матеріали Х Міжнародної наук.-практ. конф., 29-31 травня, 2018 – Херсон: ХДМА, 2018. – С. 124 – 128.

## АНОТАЦІЯ

**Пасечнюк С.С.** Попередження зіткнення суден застосуванням спільного маневру розходження. – 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, 2020.

У роботі досліджено стратегії розходження суден, що небезпечно зближуються, за допомогою областей небезпечних курсів і швидкостей. Одержано спосіб формування областей для випадку суден з тривалістю перехідних процесів зміни курсів і швидкостей, якими можна знехтувати. Також розглянуті процедури формування областей небезпечних курсів одного судна і швидкостей другого судна, які мають значну інерційність. Одержані способи формування областей у разі зниження швидкості другого судна активним або пасивним гальмуванням. Розглянуто більш складну ситуацію зближення двох суден за наявності третього судна, що заважає, і запропоновано спосіб вибору безпечного маневру розходження.

Досліджено вплив стохастичних похибок вимірювань пеленга і дистанції судна на параметри маневру розходження, показано, що визначальним є закон розподілу векторіальної позиційної похибки. Приведено результати натурних спостережень похибок вимірювання пеленга і дистанції.

В завершенні роботи приведено опис імітаційної комп'ютерної програми для перевірки коректності одержаного в дисертаційній роботі способу вибору безпечного маневру розходження суден сумісною зміною курсу одного судна і швидкості іншого судна. При цьому враховується наявність третього судна, що заважає.

Отримані результати імітаційного моделювання маневрів розходження в запропонованих ситуаціях небезпечного зближення підтверджують коректність розробленого способу вибору сумісного маневру розходження суден за допомогою областей неприпустимих параметрів з урахуванням наявності третього судна, що заважає, або без нього.

У дисертаційній роботі удосконалено спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей пари суден з урахуванням співвідношення їх швидкостей при локально-незалежному управлінні та спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей пари суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик, а також отримала подальший розвиток процедура визначення параметрів сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх динаміки.

**Ключові слова:** безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, зовнішнє управління, області неприпустимих параметрів руху суден.

## АННОТАЦІЯ

**Пасечнюк С.С.** Усовершенствование методов предупреждения столкновений судов путем применения совместного маневра расхождения.– Квалификационный научный труд на правах рукописи. Диссертация на получение научной 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, 2020.

В работе рассмотрены стратегии расхождения опасно сближающихся судов с помощью областей опасных курсов и скоростей. Приведено формирование областей для случая судов с незначительными переходными процессами изменения курсов и скоростей, а также рассмотрены процедуры формирования областей опасных курсов одного судна и скоростей второго судна, обладающих значительной инерционностью. Получены способы формирования областей в случае снижения скорости второго судна активным или пассивным торможением. Рассмотрена более сложная ситуация сближения двух судов при наличии третьего мешающего судна и предложен способ выбора безопасного маневра расхождения.

Исследовано влияние стохастических погрешностей измерений пеленга и дистанции судна на параметры маневра расхождения, показано, что определяющим является закон распределения векториальной позиционной погрешности. Приведены результаты натурных наблюдений погрешностей измерения пеленга и дистанции.

Представленные результаты имитационного моделирования маневров расхождения в заданных ситуациях опасного сближения подтверждают корректность разработанного способа выбора параметров совместного маневра расхождения судов с учетом наличия третьего мешающего судна или без него.

В диссертационной работе усовершенствованы способ формирования области небезопасных курсов и скоростей пары судов с учетом соотношения их скоростей при локально-независимом управлении и способ формирования областей небезопасных курсов и скоростей пары судов с учетом их инерционно-тормозных характеристик, а также получила дальнейшее развитие процедура определения параметров совместного маневра расхождения судов с учетом их динамики.

**Ключевые слова:** безопасность судоходства, предупреждение столкновений судов, внешнее управление, области недопустимых параметров движения судов.

## ANNOTATION

**Pasechnyuk S.S.** Perfection of methods of warning of collision of ships by application of general maneuver of divergence. It is Qualifying scientific labor on rights for a manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences (Ph.D.) after specialty 05.22.13 - navigation and traffic control (271-river and marine transport). It is the National University «Odessa Maritime Academy», Odessa, 2020.

Strategies of divergence of ships which are dangerously drawn together are explored in work, by the regions of dangerous courses and speeds. At first got procedures of forming of region of dangerous courses of one ship and speeds of the second ship taking into account their correlation of speeds and dynamics. The method of forming of regions is got for the case of ships with duration of transitional processes of change of courses and speeds by which it is possible to scorn. Also considered procedures of forming of regions of dangerous courses of one ship and speeds of the second ship, which have considerable inertia. Got methods of forming of regions in the case of decline of speed of the second ship by the active or passive braking.

More difficult situation of rapprochement of two ships is also considered at presence of the third ship, that prevents, and the method of choice of safe maneuver of divergence is offered taking into account the third ship, that prevents.

Explored influence of stochastic errors of measuring of bearing and distance of ship on the parameters of maneuver of divergence, taking into account dependence of size maximum - possible distance of rapprochement from the errors of measuring. It is shown that the size of its stochastic constituent depends on the law of distributing of vectors position error.

Finishing subsection contains the results of model supervisions of errors of measuring of bearing and distance.

Description of the imitation computer program for verification of correctness of the method of choice of safe maneuver of divergence of ships got in dissertation work by the

compatible change of course of one ship and speed of other ship it is resulted in completion of work.

The results of imitation design of maneuvers of divergence laid out in a fifth section in the offered situations of dangerous rapprochement confirm correctness of the developed method of choice of compatible maneuver of divergence of ships by the regions of impermissible parameters taking into account the presence of the third ship, that prevents, or without him.

The dissertation has improved the way formation of an area of unsafe courses and speeds of a pair of ships, taking into account the ratio of their speeds with locally independent control and the method formation of areas of unsafe courses and speeds of a pair of ships, taking into account their inertial-braking characteristics, and was further developed the procedure of determining the parameters of the joint maneuver of the divergence of ships, taking their dynamics.

**Keywords:** safety of navigation, warning of collisions of ships, external management, regions of dangerous values of parameters of motion of ships, general maneuver of divergence.

Підп. до друку 23.12.2020. Формат 60x84/16. Папір офсет.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.  
Тираж 100 пр. Зам. № И20-12-79

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