Національний університет «Одеська морська академія»
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Янчецький Олександр Віталійович

УДК 656.61.052

ДИСЕРТАЦІЯ

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ВРАХУВАННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
(271 - Річковий та морський транспорт)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Янчецький О.В.

Науковий керівник д. т. н., доцент Бурмака І.О.

Одеса – 2021

АНОТАЦІЯ

Янчецький О.В. Вдосконалення методів попередження зіткнення суден врахуванням ефективності їх 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, 2021.

Аналіз літератури, який проведено в першому розділі дисертації, показує, що одним із найбільш актуальних аспектів забезпечення безпеки судноводіння являється попередження зіткнень суден в стислих водах, для вирішення якого необхідна розробка нових методів визначення безпечних маневрів розходження суден при їх небезпечному зближенню. Характерною особливістю плавання суден в стислих водах являється виникнення ситуацій небезпечного зближення декількох суден, в яких часто неможливе виконання вимог МППЗС-72 і з'являється загроза зіткнення, що обумовлює необхідність розробки нових методів вибору безпечного маневру розходження.

Питання вибору тематики роботи і її основних напрямів розглянуто в дисертації. Приведено методологічне забезпечення роботи, яке відображено в технологічній карті дисертаційного дослідження, що містить методологічну структуру дисертації.

У технологічній карті приведені мета дослідження по темі дисертації і головне завдання, яке розділено на три незалежні складові задачі. Визначена наукова новизна роботи по результатам рішення незалежних складових задач та запропонована робоча гіпотеза дослідження.

У другому розділі також показані значущість і практична цінність дисертаційного дослідження та сформульовано основне наукове положення

роботи. Викладена методика рішення складових задач роботи, в якій показано покрокове виконання дисертаційного дослідження.

В основній частині роботи приведені методи і матеріали, які потрібні для вирішення головної задачі дисертаційного дослідження.

Враховуючи, що в роботі ставиться задача визначення вірогідності безпечного розходження суден, що небезпечно зближуються, в розділі розглянуто апріорну оцінку вірогідності безпечної проводки судна стислим маршрутом, представлена характеристика аварійності суден потоками аварійних подій.

Приведена математична модель визначення вірогідності безаварійного плавання судна по вибраному маршруту з відомими характеристиками і заданою двовимірною щільністю розподілу позиційної похибки. Також розглянутий альтернативний спосіб визначення апріорної вірогідності в рамках одновимірного простору з використанням одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення судна щодо програмної траєкторії руху.

Показано, що безпека судноводіння в стислих умовах залежить від векторіальної похибки управління судном, причому ця залежність визначає інтенсивність аварійних подій внаслідок посадок судна на мілину через векторіальну похибку управління.

Розглянуто застосування областей неприпустимих значень параметрів руху при зовнішньому управлінні процесом розходження суден у разі застосування домену круглої форми, причому приведені способи формування області небезпечних значень курсів суден, що зближуються, області неприпустимих значень швидкостей пари суден і області неприпустимих значень курсів одного судна і швидкостей іншого судна.

Також приведені процедура розрахунку меж області неприпустимих значень курсів суден у разі застосування суднового безпечного домену еліптичної форми і спосіб формування області неприпустимих значень курсів

суден у разі застосування суднового безпечного домену прямокутної форми.

У разі локально-незалежного управління процесом розходження суден розглянуто використання областей неприпустимих значень параметрів руху або розходження базового судна. Приведені способи розрахунку межі області неприпустимих значень параметрів руху базового судна і межі неприпустимої області швидкостей і курсів при маневрі розходження зниженням швидкості активним або пасивним гальмуванням.

Розглянуто методи формування областей неприпустимих значень параметрів розходження базового судна, до яких відносяться область неприпустимих значень параметрів ухилення судна і область допустимих значень курсів ухилення і моментів часу повороту на курс виходу.

Приведені маневри розходження судна з двома небезпечними цілями послідовними ухиленнями використовуючи область неприпустимих значень курсів ухилення і область допустимих комбінованих маневрів розходження судна з двома цілями зміною курсу і його активним гальмуванням.

Надалі викладені основні етапи процесу ухвалення рішення по попередженню зіткнень суден. Показано, що істотними є чотири етапи, а сам процес залежить від принципу управління розходженням суден.

Для зіставлення аналітичних систем попередження зіткнень суден запропонована процедура оцінки їх ефективності, яка визначається вірогідністю безпечного завершення процесу розходження.

Запропонована оцінка вірогідності ступеня небезпеки зближенні суден, для розрахунку якої одержаний аналітичний вираз щільності розподілу вірогідності похибки дистанції найкоротшого зближення у разі розподілу похибок вимірювань пеленга і дистанції по нормальному закону.

Розроблений спосіб оцінки вірогідності коректного визначення типу взаємодії суден і вибору оптимальної стратегії розходження. Показана перевага зовнішнього управління процесом розходження суден через відсутність необхідності координації їх взаємодії. Для МППЗС-72 і

альтернативної системи бінарної координації розроблена оцінка вірогідності коректного визначення типу взаємодії суден.

Запропонована процедура визначення групи взаємодіючих суден для визначення сумісної стратегії розходження з метою компенсації ситуативного збурення.

В роботі розроблені алгоритм і процедура визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються, на базі ситуації небезпечного зближення групи, що складається з чотирьох суден. Для вирішення поставленої задачі запропонований спосіб сканування площин парних курсів суден придатний для ситуацій зближення від двох до п'яти суден. Алгоритмом передбачено вибір стратегії розходження зміною курсів мінімальної кількості суден групи, причому значення змін курсів є мінімальними за умови виконання вимог безпечного розходження.

Для ситуації небезпечного зближення декількох суден за допомогою одержаного алгоритму була розроблена імітаційна програма визначення оптимальної стратегії розходження. Програмою передбачено введення параметрів ситуації небезпечного зближення, розрахунок курсів ухилення суден для безпечної розходження і перевірка її коректності шляхом програвання одержаної стратегії.

В завершення роботи приведені результати імітаційного моделювання визначення параметрів оптимальної стратегії розходження в ситуації небезпечного зближення трьох суден. Для заданої ситуації небезпечного зближення програмою визначені курси безпечного ухилення суден, причому потрібно зміна курсів тільки двох суден. Потім була проведена перевірка коректності розрахованої стратегії розходження в два етапи: по-перше, за допомогою області неприпустимих значень курсів перевірялася безпека розходження кожної пари суден, що зближуються, і, по-друге, проводилося імітаційне моделювання процесу розходження групи суден.

Аналогічно проводилося імітаційне моделювання вибору оптимальної стратегії розходження в ситуації небезпечного зближення чотирьох суден. Результати імітаційного моделювання підтвердили коректність пропонованого методу визначення параметрів стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає в розробці нового методу визначення параметрів стратегії розходження суден, що має комп'ютерну реалізацію і відрізняється застосуванням принципу зовнішнього управління розходженням незалежно від наявності СУРС та використанням способу автоматичного сканування для визначення оптимальних курсів ухилення.

У дисертаційній роботі:

− вперше розроблено спосіб оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден;

− вперше запропоновано процедуру визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення;

− одержав подальший розвиток метод визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

Практичне значення властиве проведеному дисертаційному дослідженню полягає у можливості використання його результатів розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для розходження судна в ситуаціях небезпечного зближення.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені компанією «Акомарін(Одеса)» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден по напряму «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 19.04.2021 р.), Азовським морським інститутом Національного університету «Одеська морська академія» (акт впровадження від 14.04.2021 р.), та малим приватним підприємством «Трансконтинетальне сейсмопрогнозове бюро» (акт впровадження від

11.05.2021 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська морська академія»: «Розробка методів безаварійного плавання суден в прибережних районах навігації» (№ ДР 0120U102611, 2021 р.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ.

Під час виконання дисертаційної роботи наступний патент було отримано:

- патент на корисну модель № 143062 «Стенд для дослідження опору руху моделей транспортних засобів». Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня 10.07.2020, Бюл. № 13.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, зовнішнє управління, стратегія розходження групи суден, імітаційне моделювання.

Основні результати дисертаційного дослідження здобувача опубліковані в наступних наукових працях:

Основні наукові результати дисертації.

1. Берестовой А.М. Блок-схема алгоритма расчета маневра последнего момента / Берестовой А.М., **Янчецкий А.В**., Черныш А.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 218-224.

2. Хуссейн Ю.М. Перспективные способы расхождения судов и анализ их эффективности. / Хуссейн Ю.М., **Янчецкий А.В.** // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – № 1(22). – 2020. – С. 54 – 63.

3. Бурмака И.А. Оценка вероятности степени опасности сближения судов / Бурмака И.А., **Янчецкий А.В.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 30. – Одесса: «ИздатИнформ», 2020 - С. 27-34.

4. Бурмака І.О. Визначення групи суден при небезпечному зближенні / Бурмака І.О., Ворохобін І.І., **Янчецький О.В.** // Судноводіння: Зб. наук. праць./ НУ «ОМА», Вип. 31. – Одеса: «ИздатИнформ», 2021 - С. 108-113.

5. Янчецкий А.В. Определение группы взаимодействующих судов при сближении в районе интенсивного движения. / Янчецкий А.В. // East European Science Journal, №1 (65), 2021, part 3. - С. 4 - 8.

6. Янчецкий А.В. Оценка вероятности корректного определения типа взаимодействия судов в ситуации опасного сближения. / Янчецкий А.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, IX(31), Issue: 250, 2021.- С. 46 - 49.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

7. Янчецкий А.В. Способ оценки эффективности аналитических систем предупреждения столкновений судов / Янчецкий А.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): Матеріали XII Міжнародної наук.-практ. конф., 27-29 травня. 2020 – Херсон: ХДМА, 2020. – С. 127–129.

8. Янчецкий А.В. Процедура определения степени опасности ситуации сближения судов. / Янчецкий А.В. //Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 12-13 листоп. 2020 – Одеса : НУ «ОМА», 2020. – С. 101–104.

9. Burmaka I. Methods of Ships' External Steering in Condition of Close Quarters Situation/ I. Burmaka, M. Kulakov, Y. Khussein, O. Yanchetskyy // Transport Means 2020 Sustainability: Research and Solutions, Proceedings of the 24th International Scientific Conference, part II, September 30 - October 02, 2020, Online Conference - Kaunas, Lithuania, P. 753-757.

ANNOTATION

Yanchetskyy O. Perfection of methods of warning of collision of ships by the account of efficiency of their 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 marine academy», Odessa, 2021.

The analysis of literature, which is conducted in the first section of dissertation, shows that one of the most actual aspects of providing of safety of navigation is warning of collisions of ships in the compressed waters, for the decision of which necessary development of new methods of determination of safe maneuvers of divergence of ships at their dangerous to rapprochement. In the compressed waters the origin of situations of dangerous rapprochement of a few ships is the characteristic feature of sailing of ships, in which often impossible implementation of the COLREG requirements and the threat of collision appears, that stipulates the necessity of development of new methods of choice of safe maneuver of divergence.

The question of choice of subject of work and its basic directions is considered in dissertation. The methodological providing of work, which is represented in the technological card of dissertation research, is resulted, that contains the methodological structure of dissertation.

In a technological card resulted research purpose on the theme of dissertation and above all task which is parted on three independent component tasks. Certain scientific novelty of work on to the results of decision of independent component tasks the that offered working hypothesis of research.

In the second section meaningfulness and practical value of dissertation research is also shown and the substantive scientific provision of work is formulated.

Laid out method of decision of component tasks of work, step by step implementation of dissertation research is shown in which.

In basic part of work the resulted methods and materials which are needed for the decision of main task of dissertation research.

Taking into account that in work is set the problem of determination of authenticity of safe divergence of ships which are dangerously drawn together, in a section a priori estimation of authenticity of the safe sailing of ship is considered the compressed route, represented description of accident rate of ships by the streams of emergency events.

Resulted mathematical model of determination of authenticity of the accident-free sailing of ship on the chosen route with the known descriptions and set closeness of distributing of vector position error. Also considered alternative method of determination of a priori authenticity within the framework with the use of closeness of distributing of error of lateral declination of ship in relation to the programmatic trajectory of motion.

It is shown that safety of navigation in the compressed terms depends on the vector error of management by a ship, thus this dependence determines intensity of emergency events as a result of landings of ship on shoal through the vector error of management.

Application of regions of impermissible values of parameters of motion is considered at the external process control of divergence of ships in the case of application to the domain of round form, thus the resulted methods of forming of region of dangerous values of courses of ships, which are drawn together, region of impermissible values of speeds of pair of ships and region of impermissible values of courses of one ship and speeds of other ship.

Also resulted procedure of calculation of scopes of region of impermissible values of courses of ships in the case of application of ship safe to the domain of elliptic form and method of forming of region of impermissible values of courses of ships in the case of application of ship safe to the domain of rectangular form.

In the case of local process control of divergence of ships the use of regions of impermissible values of parameters of motion or divergence of base ship is considered. Resulted methods of calculation of border of region of impermissible values of parameters of motion of base ship and border of impermissible region of speeds and courses at the maneuver of divergence by the decline of speed by the active or passive braking.

The methods of forming of regions of impermissible values of parameters of divergence of base ship are considered, which the region of impermissible values of parameters of deviation of ship and region of acceptability courses of deviation and moments of time of turn on the course of output belong to.

Resulted maneuvers of divergence of ship with two dangerous targets by successive deviations using the region of impermissible values of courses of deviation and region of the possible combined maneuvers of divergence of ship with two targets by the change of course and his active braking.

In future laid out basic stages of process of decision-making after warning of collisions of ships. It is shown that four stages are substantial, and a process depends on principle of management by divergence of ships.

For comparison of the analytical collision avoidance systems ships the offered procedure of estimation of their efficiency which is determined by authenticity of safe completion of process of divergence.

Offered estimation of authenticity of degree of danger rapprochement of ships, for the calculation of which the got analytical expression of closeness of distributing of authenticity of error of distance of the shortest rapprochement in the case of distributing of errors of measuring of bearing and distance on a normal law.

Developed method of estimation of authenticity of correct determination of type of cooperation of ships and choice of optimum strategy of divergence. Shown advantage of external process control of divergence of ships for lack of necessity of coordination of their cooperation. For COLREG and alternative system of bina-

ry coordination the developed estimation of authenticity of correct determination of type of cooperation of ships.

Offered procedure of determination of group of interactive ships for determination of compatible strategy of divergence with the purpose of indemnification of situation indignation.

An algorithm and procedure of determination of strategy of divergence of group of ships which are dangerously drawn together is developed in work, on the base of situation of dangerous rapprochement of group, that consists of four ships. For the decision the set problem the offered method of scanning of planes of courses of ships suitable for the situations of rapprochement from two to five ships. An algorithm foresees the choice of strategy of divergence by the change of courses of the least of ships of group, thus the value of changes of courses is minimum on condition of implementation of requirements of safe divergence.

For the situation of dangerous rapprochement of a few ships by the got algorithm the imitation program of determination of optimum strategy of divergence was developed. The program foresees introduction of parameters of situation of dangerous rapprochement, the calculation of courses of deviation of ships for safe is divergence and verification of its correctness by playing of the got strategy.

In completion of work the resulted results of imitation design of determination of parameters of optimum strategy of divergence in the situation of dangerous rapprochement of three ships. For the set situation of dangerous rapprochement by the program certain courses of safe deviation of ships, it is thus needed change of courses of only two ships. Then verification of correctness of the expected strategy of divergence in two stages was conducted: at first, by the region of impermissible values of courses safety of divergence of every pair of ships which are drawn together was checked up, and, secondly, the imitation design of process of divergence of group of ships was conducted.

The imitation design of choice of optimum strategy of divergence in the situation of dangerous rapprochement of four ships was like conducted. The results of

imitation design confirmed correctness of the offered method of determination of parameters of strategy of divergence of group of ships which are dangerously drawn together.

The scientific novelty of the results got in dissertation consists in development of a new method of determination of parameters of strategy of divergence of ships, that has computer realization and differs by application of principle of external management by divergence regardless of the VTS presence and the use of method of the automatic scanning for determination of optimum courses of deviation.

In dissertation work:

− the method of estimation of efficiency of the analytical collision avoidance systems ships is first developed;

− procedure of determination of group of ships which cooperate is first offered, in the situation of rapprochement;

− the method of determination of strategy of divergence of group of ships which are dangerously drawn together got subsequent development.

The practical value peculiar to the conducted dissertation research consists in possibility of the use of its results by the developers of the navigation informative systems intended for divergence of ship in the situations of dangerous rapprochement.

The practical results of dissertation research were implemented by the company «Acomarin(Odessa)» for education, training, and retraining of navigational officers to ensure safety of navigation (implementation act of 19.04.2021), Azov maritime institute National University «Odessa maritime academy» (implementation act of 14.04.2021), and the small private enterprise «Transcontinental seismic forecast bureau» (implementation act of 19.04.2021). The materials of the dissertation research are used in the framework of state-research works (SRW) of the National University «Odessa maritime academy»: «Development of methods for non-accident navigation of ships in coastal waters» (№ 0120U102611, 2021) in which the author of this part as executor.

During the dissertation research the following patent was received:

- the patent for the used model № 143062 «Stand for the research of resistance models to movement vehicles», which is registered in the State register of patents of Ukraine for the useful model 10.07.2020.

Keywords: safety of navigation, warning of collisions of ships, external management, strategy of divergence of group of ships, imitation design.

The basic results of dissertation research of bread-winner are published in the following scientific labors:

Basic scientific results of dissertation.

1. Берестовой А.М. Блок-схема алгоритма расчета маневра последнего момента / Берестовой А.М., **Янчецкий А.В**., Черныш А.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 218-224.

2. Хуссейн Ю.М. Перспективные способы расхождения судов и анализ их эффективности. / Хуссейн Ю.М., **Янчецкий А.В.** // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – № 1(22). – 2020. – С. 54 – 63.

3. Бурмака И.А. Оценка вероятности степени опасности сближения судов / Бурмака И.А., **Янчецкий А.В.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 30. – Одесса: «ИздатИнформ», 2020 - С. 27-34.

4. Бурмака І.О. Визначення групи суден при небезпечному зближенні / Бурмака І.О., Ворохобін І.І., **Янчецький О.В.** // Судноводіння: Зб. наук. праць./ НУ «ОМА», Вип. 31. – Одеса: «ИздатИнформ», 2021 - С. 108-113.

5. Янчецкий А.В. Определение группы взаимодействующих судов при сближении в районе интенсивного движения. / Янчецкий А.В. // European Science Journal, №1 (65), 2021, part 3. - С. 4 - 8.

6. Янчецкий А.В. Оценка вероятности корректного определения типа взаимодействия судов в ситуации опасного сближения. / Янчецкий А.В. //

Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, IX(31), Issue: 250, 2021.- С. 46 - 49.

Publications which certify approbation of materials of dissertation.

7. Янчецкий А.В. Способ оценки эффективности аналитических систем предупреждения столкновений судов / Янчецкий А.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): Матеріали XII Міжнародної наук.-практ. конф., 27-29 травня. 2020 – Херсон: ХДМА, 2020. – С. 127–129.

8. Янчецкий А.В. Процедура определения степени опасности ситуации сближения судов. / Янчецкий А.В. //Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 12-13 листоп. 2020 – Одеса : НУ «ОМА», 2020. – С. 101–104.

9. Burmaka I. Methods of Ships' External Steering in Condition of Close Quarters Situation/ I. Burmaka, M. Kulakov, Y. Khussein, O. Yanchetskyy // Transport Means 2020 Sustainability: Research and Solutions, Proceedings of the 24th International Scientific Conference, part II, September 30 - October 02, 2020, Online Conference - Kaunas, Lithuania, P. 753-757.

ЗМІСТ

Стр.

ВСТУП.....…… 18

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ПО ОСНОВНИМ НАПРЯМКАМ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ.....23

1.1. Аналіз літературних джерел за проблемою забезпечення безаварійного плавання суден.....23

1.2. Вибір тематики дисертаційного дослідження..... 51

1.3. Висновки за першим розділом.....……...52

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....……..53

2.1. Визначення теми наукового дослідження.....….53

2.2. Технологічна карта дисертаційного дослідження та його методи.55

2.3. Методика проведення дисертаційного дослідження .....….59

2.4. Висновки за другим розділом.....……61

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ І МЕТОДИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ.....62

3.1. Апріорна оцінка вірогідності безпечної проводки судна обмеженим маршрутом.....62

3.2. Сучасні методи оцінки наявності загрози зіткнення суден, що зближуються, і вибору оптимальної стратегії розходження.....71

3.2.1. Застосування областей неприпустимих значень параметрів руху при зовнішньому управлінні процесом розходження суден.....75

3.2.2. Використання областей неприпустимих значень параметрів руху у разі локально-незалежного управління розходженням суден.....84

3.3. Висновки за третім розділом.....99

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ СУДЕН.....102

4.1. Основні етапи процесу ухвалення рішення по попередженню зіткнень суден.....102

4.2. Оцінка ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден.....108

4.3. Оцінка вірогідності рівня небезпеки зближення суден.....110

4.4. Вірогідність коректного визначення типу взаємодії суден і вибору оптимальної стратегії розходження.....114

4.5. Визначення групи взаємодіючих суден.....132

4.6. Висновки за четвертим розділом.....139

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....141

5.1. Визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.....141

5.2. Імітаційне моделювання визначення оптимальної стратегії розходження в ситуації небезпечного зближення трьох суден.....146

5.3. Імітаційне моделювання вибору оптимальної стратегії розходження в ситуації небезпечного зближення чотирьох суден.....157

5.4. Висновки за п'ятим розділом.....174

ВИСНОВКИ.....176

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....178

ДОДАТОК А. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації..... 194

ДОДАТОК В. Акти упровадження результатів дисертації.....196

ВСТУП

Актуальність теми. Зростання швидкостей та підвищення інтенсивності руху на водних шляхах, збільшення розмірів транспортних суден, плавання в складних навігаційних умовах роблять проблему забезпечення безаварійності судноплавства однією із найбільш пріоритетних і актуальних. Від її вирішення залежить зменшення кількості аварійних випадків, що сприяє охороні людського життя на морі, зниженню шкоди навколишньому середовищу і майну.

Плавання морських суден в стислих водах ускладнюються інтенсивне судноплавство та навігаційні небезпеки, які сприяють появі аварійних ситуацій та характеризуються швидкоплинними змінами. Вказана особливість плавання в стислих водах потребує розробки сучасних методів оцінки ситуації зближення та вибору маневру розходження, чого можна досягти використанням комп'ютерних інформаційних технологій. Тому розробка сучасних засобів оперативного управління процесом розходження суден з урахуванням їх ефективності, 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 «Розробка методів безаварійного плавання суден в прибережних районах навігації» (№ ДР 0120U102611, 2021 р.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження являється підвищення безпеки судноводіння шляхом вдосконалення управління процесом розходження суден з урахуванням переваг існуючих аналітичних систем попередження зіткнень суден.

Наукова гіпотеза дисертаційного дослідження полягає у допущені про можливість підвищення оперативності і безпечності вибору параметрів оптимального маневру розходження суден шляхом застосування більш ефективних засобів їх визначення.

Головна задача дослідження полягає в розробці оперативного методу вибору маневру розходження з використанням характеристик найбільш ефективних аналітичних систем попередження зіткнень суден.

Для вирішення головної задачі дисертації методами теорії дослідження операцій було проведено її розділення на три незалежні складові задачі:

1. Формування способу оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден.

2. Процедура визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення.

3. Розробка методу визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

Об'єктом дослідження дисертації є попередження зіткнення суден.

Предметом дослідження є методи оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнення суден.

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

- дедукції для аналізу основних напрямів вирішення проблеми безпеки судноводіння;

- дослідження операцій для декомпозиції головної задачі дисертації на незалежні складові задачі;

- системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи і при обґрунтовані методологічного забезпечення і технології наукового дослідження;

- теорії вірогідності для оцінки вірогідності рівня небезпеки зближення суден;

- теорії ієрархічних багаторівневих систем для формалізації системи ухвалення рішень.

Наукова новизна отриманих результатів Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає в створенні нового методу визначення параметрів стратегії розходження суден, що має комп'ютерну реалізацію і відрізняється застосуванням принципу зовнішнього управління розходженням незалежно від наявності СУРС та використанням способу автоматичного сканування для визначення оптимальних курсів ухилення.

У дисертаційній роботі:

− вперше розроблено спосіб оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден;

− вперше запропоновано процедуру визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення;

− одержав подальший розвиток метод визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання його результатів розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для розходження судна в ситуаціях небезпечного зближення.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені компанією «Акомарін(Одеса)» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден по напряму «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 19.04.2021 р.), Азовським морським інститутом Національного університету «Одеська морська академія» (акт

впровадження від 14.04.2021 р.), та малим приватним підприємством «Трансконтинетальне сейсмопрогнозове бюро» (акт впровадження від 11.05.2021 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська морська академія»: «Розробка методів безаварійного плавання суден в прибережних районах навігації» (№ ДР 0120U102611, 2021 р.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ.

Під час виконання дисертаційної роботи наступний патент було отримано:

- патент на корисну модель № 143062 «Стенд для дослідження опору руху моделей транспортних засобів». Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня 10.07.2020, Бюл. № 13.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота здобувача виконана самостійно: ним виявлено та проаналізовано найбільш важливі напрями вирішення проблеми зниження аварійності судноводіння, він провів пошук інформації по даній проблематики та обґрунтував методологічне забезпечення дисертаційної роботи, здобувач розробив і запропонував спосіб оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден з урахуванням їх основних характеристик, ним також запропоновано процедуру визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення, дисертантом імітаційним комп'ютерним моделюванням підтверджено коректність одержаних в роботі теоретичних результатів, ним впроваджено результати дисертаційного дослідження в виробничий процес. В дисертації із наукових праць, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті положення, які належать автору особисто: формалізація маневру останнього моменту [112], аналіз ефективності способів розходження суден [113], процедура оцінки вірогідності рівня небезпеки зближення суден [114], процедура визначення групи суден при небезпечному зближенні [115].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і були схвалені на науково-технічних конференціях:

Науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 12-13 листопаду 2020 р.), XII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020)» (Херсон, 27-29 травня 2020 р.), 24 Міжнародна наукова конференція «Transport Means 2020 Sustainability: Research and Solutions» (Каунас, 30 серпня-2 жовтня 2020 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 9 наукових праць (з них 4 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 4 наукових статті [112-115]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 2 наукові статті [116, 117]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 3 доповіді [118 – 120].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (133 найменування) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 199 сторінок і містить 67 рисунків та 4 таблиці, зокрема: 177 сторінок основного тексту, 16 сторінок списку використаних джерел, 6 сторінок додатків.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ПО ОСНОВНИМ НАПРЯМКАМ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

1.1. Аналіз літературних джерел за проблемою забезпечення безаварійного плавання суден.

Для вивчення стану вирішення проблеми забезпечення безаварійного плавання суден було проведено аналіз літературних джерел, який виявив два найбільш актуальні напрямки вирішення цієї проблеми:

1. Забезпечення необхідного рівня точності визначення місця судна і кількісна оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

2. Розробка оперативних методів оптимального розходження суден для попередження їх зіткнень у стислих районах інтенсивного судноплавства.

Роботи [1-5] присвячені питанням забезпечення безаварійності судноводіння в стислих районах плавання і можливим напрямкам її підвищення.

Аналіз безпеки судноплавства в околицях порту Xiamen (Китай) вивченням морських аварій за останні 10 років наведено у публікації [1]. За допомогою приведеного аналізу виявлено основні потенційні ризики, що притаманні цьому району, на підставі яких запропоновано заходи управління безпекою.

З метою визначення рівня безпеки судноплавства в заданому районі протягом декількох років розроблялася модель оцінки ризику аварії, про що повідомляється в статті [2]. В моделі враховується діюча система управління рухом суден і вплив на аварійність судноводіння планованих заходів. Розробка згаданої моделі оцінки ризику аварії потребувала використання методологічних, систематичних і кількісних підходи для певного району плавання, які характеризуються запропонованими в статті індексами.

Використання такого індексу можливо Управлінням Судноплавства і в реальному масштабі часу для моніторингу процесу судноплавства в певному районі для виявлення «підозрілих суден». Загальні принципи, закладені в моделі оцінки ризику, та формування бази необхідних даних, як і процедури їх збору, також описуються у роботі. Приведено характеристику моделі SAMSON розробленої в Нідерландах та запропоновані рекомендації визначення динамічного індексу ризику для певних типів суден за допомогою розглянутої в статті моделі.

В статті [3] повідомляється, що в прибережних зонах Японії необхідно виявити вплив споруд, які знаходяться в районі морського судноплавства, на навколишнє довкілля. Досліджується людино - машина система, яка враховує зовнішні фактори і ментальне навантаження на судноводія, який приймає рішення для безпечного судноплавства. В роботі показана необхідність розробки моделі поведінки судноводія, для чого пропонується використання моделі маневрування в обмеженому просторі і формування плану дій при можливій появі ризику аварії, який включає вибір курсу ухилення судна і розрахунок параметрів маневру розходження. При цьому існує вимога запобігти посадці судна на мілину при наявності обмежених глибин в районі плавання судна та врахувати можливе погіршення ситуації в разі раптової появи інших суден.

У роботі запропоновано використання індексу небезпеки для оцінки загрози різних об'єктів в районі плавання судна, який характеризується об'єктивністю і усуває суб'єктивні висновки судноводія. Розглянута система являється ефективною мірою запобігання зіткненням суден.

Розгляду сучасних методів і засобів забезпечення безаварійного судноплавства присвячена робота [4], в якій розглянуто проблеми оцінки керованості суден, навігаційної безпеки, та запобігання аваріям різного характеру.

В роботі [5] вказується, що німецьке навігаційне об'єднання (DNV) разом із подібними організаціями країн Північної Європи ведуть розробку

концепції безпечного судноплавства, в основу якої положено вимоги забезпечення безаварійності на стоянці судна і в процесі плавання. Показано на вирішальний вплив людського фактору на безпеку судноводіння. Приведено результати виконаних спостережень за фактичним судноплавством. В майбутньому з урахуванням розвитку порту планується розробка нових систем судноплавства і оптимізації руху суден, що використовують методи математичної апроксимації максимального результату в умовах невизначеності.

Питання забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання шляхом оптимального навігаційного устаткування таких районів розглянуто в публікаціях [6,7].

Роботи [8-44] присвячено питанням точності контролю місця судна в стислих умовах.

Моделі оцінки вірогідності безпечної проводки судна стислим маршрутом розглянуто в роботі [8], в якій стисліcть маршруту формалізується розподілом частот бічних відстаней від середини фарватеру до його меж. Вірогідність безпечної проводки судна заданим маршрутом визначається щільністю закону розподілу вірогідності похибки бічного відхилення судна і протяжності маршруту.

Способу забезпечення високої точності визначення місця судна при плаванні в стислих районах методами кореляційної навігації присвячено статті [9-11], в якому використовується радіолокаційне зображення навколишньої ситуації і її зображення на електронній карті. Висока точність досягається максимальним співпадінням обох зображень.

Згідно роботі [12], в штормових умовах існують обмеження для входу судна в гавань, яка розташована на відкритому морському побережжі. В таких умовах сильне хвилювання викликає небезпечні зсуви судна, яке входить в гавань, щодо програмної траєкторії, що може привести до зіткнення судна з хвилеломом. Запропоновано індекси, що оцінюють безпеку входу, які базуються на виконаних натурних досліджень траєкторій руху судна в різних умовах.

В роботі [13] пропонується процедура підготовки бібліотеки маршрутів, яка забезпечує створення маршруту плавання і можливість контролю судноводієм поточного положення судна щодо заданого маршруту з високою точністю, що забезпечується диференціальною підсистемою і не виникає потреба в використанні електронних карт.

В роботах [14,15] приведені результати дослідження похибок вимірювань навігаційних параметрів, чим зроблено внесок в рішення проблеми підвищення точності визначення місця судна за рахунок розробки методів зниження впливу систематичних і випадкових похибок вимірювань на точність обсервацій місця судна, а робота [16] присвячена дослідженню залежності між точністю і надійністю судноводіння.

В роботі [17] отримані аналітичні вирази оцінки вірогідності навігаційної безпеки плавання в умовах існування різноточних корельованих похибок положення безпечних меж фарватеру. Достовірність отриманих залежностей підтверджена статистичним моделюванням.

В публікації [18] приведена стратегія формування радіонавігаційного поля на території РФ, яка враховує комплекс обмежень, передбачених міжнародними вимогами, значною протяжністю та значними істотними відмінностями плавання суден внутрішніми водними шляхами різних регіонів Росії.

У роботі [19] розглянуто задачу позицінування судна в заданому положенні при можливості управління тільки за інформацією сигналів, які пов'язані з моментом рискання судна і силою його подовжнього зносу. Вирішення даної задачі в роботі запропоновано методом управління із зворотним зв'язком, який змінюється в часі, причому проводиться врахування інтегральної складової управляючої дії.

В роботі [20] пропонуються численні методи визначення значень допустимих величин середніх квадратичних похибок навігаційних параметрів для забезпечення безпеки плавання в різних областях руху, які

отримані на базі теоретичних розробок і зіставлення їх з вимогами ІМО по точності судноводіння.

Нова модель формування випадкових величин навігаційних вимірювань запропонована в роботі [21], яка відрізнявся від моделі нормального закону розподілу вірогідності випадкових величин, через що в судноводінні почали досліджувати випадкові похибки, що підкоряються змішаним законам розподілу вірогідності [22,23]. Прийнята добре пояснює, Гістограми експериментальних даних по похибкам навігаційних вимірювань мають в крайніх розрядах надмірне число членів, що протирічить закону розподілу Гауса, але відповідає гіпотезі про змішані закони розподілу похибок, які якраз мають «важкі хвости». Недолік моделей змішаних законів розподілу полягає в тому, що вони не можуть застосовуватися до опису систем залежних випадкових величин так, як не відносяться ні до стійких, ні до безмежно-ділених законів розподілу.

Згідно роботі [24], диференціальні методи системи GPS коректують похибки у визначенні місцеположення судна, однак з часом і із збільшенням відстані користувача системи від станції поправки можуть виявитися недостатніми. В роботі показано, що при збільшенні відстані навігаційного приймача системи DGPS від базової станції похибки зростають, причому збільшення похибки складає 1 м на кожні 150 км відстані від базової станції.

Для оцінки реальної похибки шість приймачів були розміщені уздовж португальського побережжя через 50 миль на північ і південь від станції відліку. Аналіз одержаних даних приймачів показав, що реальна похибка визначення місця, яка одержана в результаті експерименту, складає 0,22 м на кожні 100 км відстані від станції відліку і є меншою від теоретичного значення. Похибки системи DGPS можуть бути вищими в портах по причині відсутності прямої видимості супутника.

Питання дослідження законів розподілу вірогідності похибок навігаційних вимірювань базової вибірки, що є сумішшю складових часткових вибірок нормально розподілених похибок з різною дисперсією

розглянуто у роботах [25-29], в яких одержано процедуру оцінки ефективності координат судна з урахуванням змішаних законів розподілу похибок базової вибірки та аналітичні вирази функції розподілу випадкових величин змішаних законів.

В роботі [30] приведено аналіз різних підходів оцінки точності визначення місця судна супутниковою радіонавігаційною системою за допомогою статистичних матеріалів, який показав, що припущення про розподіл випадкових похибок визначення широти і довготи за законом розподілу Гауса не є коректним і вимагає альтернативного підходу з пошуком інших законів розподілу вірогідності.

Результати дослідження можливості застосування початкових поправок станції Dziwnow в районі порту Щецін радіонавігаційної системи DGPS представлені у роботі [31], які підтвердили доцільність використання цих початкових поправок. У роботі стверджується, що проведені під час досліджень вимірювання і отримані результати забезпечують ширше застосування системи DGPS в порту Щецин.

Аналізу законів розподілу вірогідностей похибки вимірювань навігаційних параметрів присвячена робота [32], в якій досліджується залежність точності обсервованих координат судна від числа ліній положення і точності кожної із них, причому показано вплив закону розподілу похибок ліній положення та методу розрахунку обсервованих координат на їх точність. В роботі також одержано аналітичні вирази оцінки ефективності координат при визначені методом найменших квадратів у разі наявності надмірних ліній положення, закони розподілу похибок яких відрізняються від закону Гаусу. Проведене комп'ютерне імітаційне моделювання підтвердило коректність одержаних аналітичних виразів. Натурними спостереженнями в реальних умовах експлуатації було одержано 12 вибірок похибок навігаційних вимірювань, для кожної із яких були визначені закони розподілу вірогідності виміряних похибок, що в своїй

більшості не являються нормальним законом, а відносяться до змішаних законів обох типів.

Як указується в статті [33], в процесі проектування відбійних пристроїв для установки на биках великих мостів, розташованих над фарватерами з інтенсивним судноплавством, потрібно враховувати ймовірність зіткнення суден з биками.

Результати аналізу вибірок випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів представлено у роботі [34] і показано, що найбільша відповідність статистичного матеріалу теоретичному розподілу досягається для законів, які відмінні від закону Гауса. У цьому випадку використання методу найменших квадратів для визначення координат судна при надмірних лініях положення, про що вказується в роботах [35,36], не забезпечує їх ефективних оцінок з мінімальною дисперсією. Тому для розрахунку ефективних оцінок координат судна потрібно застосування методу максимальної правдоподібності, розрахунковий алгоритм якого базується на дійсному законі розподілу похибок. Нині ця обставина не враховується, тому відповідні алгоритми розрахунку ефективних оцінок координат судна відсутні.

В роботі [37] повідомляється, що проведеними дослідженнями показана можливість опису систем залежних випадкових величин за допомогою узагальненого закону розподілу Пуассона, який використовує в якості базового нормальний закон розподілу, через те, що узагальнений розподіл Пуассона є стійким. В свою чергу в роботі [38] приведено результати дослідження можливості стохастичного опису систем залежних випадкових величин за допомогою узагальненого розподілу Пуассона з базовим нормальним розподілом, причому показано, що система залежних випадкових величин, розподілених за узагальненим законом Пуассону, ортогональною матрицею перетворення може бути представлена системою незалежних випадкових величин.

В роботі [39] для опису випадкових похибок навігаційних вимірювань з «важкими хвостами» пропонуються змішані закони розподілу двох типів і узагальнений пуассонівський закон розподілу. Рівень відмінності згаданих законів розподілу від закону Гаусу характеризується значенням ексцесу розподілу, який має бути більшим від нуля.

Порівнянням кривих нормованої щільності змішаних законів розподілу обох типів з узагальненим пуассонівським законом розподілу з однаковим ексцесом при значеннях істотного параметра змішаних законів більше шести нормована щільність змішаного закону співпадає з нормованою щільністю узагальненого пуассонівського закону.

Оцінка ефективності координат судна при надмірних вимірюваннях, які розраховані методом найменших квадратів, в разі розподілу похибки ліній положення по змішаним законам обох типів була одержана імітаційним моделюванням в роботі [40]. Також за допомогою аналітичних виразів були проведені розрахунки значень ефективності координат в залежності від суттєвого параметру закону розподілу. Виявилося, що оцінки ефективності координат судна розрахованих за допомогою аналітичних виразів і одержаних імітаційним моделюванням мають високу збіжність.

Узагальнений закон розподілу Пуассону із базовою щільністю закону Гаусу запропоновано в роботі [41] в якості закону розподілу випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів. Як витікає з роботи, такому закону характерні «тяжкі хвости» і його можливо використати в разі наявності системи залежних випадкових похибок. В роботі приведено результати перевірки статистичних гіпотез для двох вибірок і показано перевагу гіпотези розподілу по узагальненому закону Пуассону перед гіпотезою розподілу по нормальному закону.

В роботі [42] для характеристики випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів пропонуються узагальнений закон розподілу Пуассону та змішані закони розподілу двох типів. Порівнюючи нормовані щільності змішаних законів розподілу із щільністю узагальненого

пуассонівського закону з однаковим ексцесом, виявлено їх співпадіння при значеннях істотного параметру змішаних законів більше шести.

В роботі [43] сформульовано вимоги до щільності розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань, виходячи з аналізу гістограм натурних спостережень. В роботі розглянуто модельні гіпотези формування нормального, двох типів змішаних і узагальненого закону Пуассону.

Приведено результати натурних спостережень, згідно яким вибірки похибок, накоплених за час спостереження менше 8 годин, розподілені по нормальному закону. В разі формування вибірки за добу або дві, її похибки розподілені по змішаним законам. Якщо формування вибірки відбувається на тривалому інтервалі часу, то похибки вимірювань мають узагальнений розподіл Пуассону.

В роботі [44] проведено дослідження можливостей використання ортогонального розкладання щільності розподілу похибок вимірювань навігаційних параметрів поліномами Ерміту для щільності закону розподілу Гаусу, для яких приведені суттєві властивості. В явному вигляді одержано розкладання щільності на базі нормованого і ненормованого нормального закону ортогональними поліномами Ерміту в ряд Грама-Шарлье типу А.

Шляхом порівняння нормованої щільності з її ортогональними розкладаннями проведено оцінку ефективності ортогонального розкладання щільності розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань. Аналіз показав, що найкраща ефективність ортогонального розкладання досягається у разі, коли воно містить тільки один член.

В якості прикладу розглянуто щільність узагальненого розподілу Пуассону і її відповідне ортогональне розкладання поліномами Ерміту. Їх порівняння показало високу збіжність та підтвердило можливість використання ортогонального розкладання в якості щільності розподілу випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів.

В роботах [45,46] запропоновано спосіб оцінки вірогідності безпечної проводки судна обмеженим маршрутом з використанням двомірної щільності

розподілу позиційної векторіальної похибки і розглянуто альтернативний спосіб визначення вірогідності безпечного плавання за допомогою одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення судна. Досліджено вплив векторіальної похибки повороту судна на безпеку судноводіння. В роботах також одержано процедуру розрахунку обсервованих координат судна за допомогою ортогонального розкладання щільності розподілу похибок навігаційних вимірювань в ряд Грама-Шарлье типу А. Розглянуто аналітичні вирази оцінки статистичної ефективності обсервованих координат, розрахованих методом найменших квадратів при надмірних лініях положення, закон розподілу похибок яких відрізняється від закону Гауса. Коректність одержаних аналітичних виразів підтверджена комп'ютерним імітаційним моделюванням.

Еквівалентні способи оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в стислому районі, які враховують закон розподілу вірогідності векторіальної похибки та вибір програмної траєкторії в допустимій області плавання і її форму, одержано в роботі [47].

Показано, що оцінка вірогідності безаварійного плавання судна еквівалентним способом за допомогою бічного відхилення є переважною.

Спосіб кількісної оцінки безпеки судноводіння і математична модель оцінки інтенсивності посадок суден на мілину по причині позиційних похибок запропоновано в статті [48], в якій також приведені приклади оцінки вірогідності безаварійної проводки судна вибраним стислим маршрутом при нормальному законі розподілу позиційної векторіальної похибки.

У статті [49] розглянуто два істотні чинники, що впливають на формування векторіальної похибки повороту судна, до яких належать похибки перекладання керма і моменту часу початку маневру повороту судна. В ній також одержано аналітичні вирази векторіальних похибок залежно від кожного із чинників.

Позиційну векторіальну похибку по завершенню повороту судна, яка обумовлена похибкою кута кладки керма при використані двох моделей

прогнозу повороту судна першого і другого порядку розглянуто в роботі [50], в якій також приведено аналітичні вирази оцінки величини векторіальної похибки залежно від вибраної моделі прогнозу повороту судна та похибки перекладання керма.

В роботі розрахована оцінка величини векторіальної похибки, яка показала, що векторіальна похибка при використанні моделі прогнозу другого порядку приблизно в чотири рази менше похибки у разі прогнозу повороту по простій моделі першого порядку.

У статті [51] запропоновано процедуру формування щільності бічного відхилення судна від програмної траєкторії руху, виходячи з відомої двовимірної щільності закону розподілу позиційної векторіальної похибки.

В роботі одержано аналітичні вирази для щільності бічного відхилення судна і вірогідності безпечної проводки судна по стислій області.

Застосування модернізованої комп'ютерної програми для оцінки вірогідності безаварійної проводки судна стислим маршрутом за допомогою електронної карти розглянуто в роботі [52], де описано процедуру формалізації меж безпечної області плавання і програмної траєкторії руху судна. Приведено приклад оцінки вірогідності безпечної проводки судна реальним обмеженим маршрутом, який відображений на електронній карті, при заданих характеристиках точності контролю місця судна в процесі проводки.

У статті [53] запропоновано процедуру оцінки векторіальної похибки, яка виникає при повороті судна, та показано, що величина векторіальної похибки залежить від похибки перекладання керма і від моделі поворотності судна. В роботі приведено аналітичні вирази векторіальної похибки в залежності від характеристики інерційності судна при повороті.

Векторіальна похибка, що виникає при повороті судна, і її залежність від похибки кута перекладання керма розглянута у статті [54], яка містить аналітичні вирази для складових векторіальної похибки при повороті судна з постійною кутовою швидкістю. Також приведені вирази для дисперсій

складових і їх другого змішаного моменту. Показано, що для нормального розподілу систему залежних складових векторіальної похибки за допомогою ортогональної матриці можна перетворити в систему незалежних складових з незмінною дисперсією модуля векторіальної похибки. Одержано аналітичний вираз двовимірної щільності розподілу векторіальної похибки повороту судна.

В роботі [55] розглянуто позиційну векторіальну похибку, обумовлену похибкою кута кладки керма при використанні моделі прогнозу повороту судна першого порядку. Приведено аналітичні вирази для оцінки величини векторіальної похибки залежно від похибки перекладання керма і вибраної моделі прогнозу повороту судна. Здійснена чисельна оцінка величини векторіальної похибки.

Результати імітаційного моделювання оцінки вірогідності проводки судна стислим маршрутом з допомогою двох різних моделей приведено в роботі [56], причому одна із них базується на двомірній щільності розподілу векторіальної похибки судна, а інша - на одномірній щільності похибки його бокового відхилення. Проведено порівняння одержаних значень вірогідностей і підтверджена правомірність використання оцінки вірогідності проводки судна по стислому маршруту більш простою моделлю з використанням одномірної щільності похибки його бокового відхилення.

Для першого способу оцінки вірогідності безаварійного плавання судна по вибраному маршруту використовується математична модель двомірної щільності розподілу векторіальної похибки судна та двомірний опис області безпечного плавання, причому проводку судна формалізовано, як марківський стохастичний процес. Другий спосіб оцінки вірогідності безаварійного плавання судна стислим маршрутом формалізовано з допомогою моделі одномірній щільності похибки його бокового відхилення від програмної траєкторії руху та з використанням одномірного опису області безпечного плавання і програмної траєкторії руху судна, який характеризується стислістю області та зсувом траєкторії.

Для кожної із моделей була розроблена імітаційна програма, з допомогою яких для одного и того ж стислого маршруту плавання, який включає межі області безпечного плавання та програмну траєкторію руху судна, проводився розрахунок вірогідності безпечної проводки судна стислим маршрутом з допомогою обох моделей, а одержані результати порівнювались. В роботі проводилась оцінка вірогідності безпечної проводки судна стислим маршрутом для п’яти маршрутів з різними характеристиками стислості безпечної області та зсуву програмної траєкторії, а також точністю проводки судна. В якості прикладу в роботі приведені детальний аналіз двох маршрутів.

В результаті порівняння вірогідностей безпечної проводки судна стислим маршрутом для п’яти маршрутів, одержаних по обом моделям виявилося, що середня відносна різниця між оцінками вірогідностей безпечної проводки судна по обох моделях становить 0,3 %, що підтверджує правомірність оцінки вірогідності безпечної проводки судна стислим маршрутом за допомогою моделі з використанням одномірній щільності похибки його бокового відхилення.

В роботі [57] запропоновано метод кількісної оцінки безпеки судноводіння при плаванні судна в стислих водах, в якому показником безпеки судноводіння вибрана вірогідність безпечної проводки судна заданим маршрутом. Метод враховує точність контролю місця судна при проводці, яка характеризується випадковою похибкою бічного відхилення від програмної траєкторії руху. В роботі приведені приклади оцінки вірогідності безпечної проводки судна розглянутим методом за допомогою комп'ютерної програми.

Модель оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих районах з використанням двомірної щільності розподілу векторіальної похибки приведено в роботі [58], в якій стисліть характеризується розподілом частот бічних відстаней від середини фарватеру до його меж безпечності.

Спосіб визначення місця судна радіолокаційною системою оберненого типу, яка складається з декількох РЛС, запропоновано в роботах [59, 60-62]. Зокрема стаття [61] присвячена вибору скалярного критерію точності з метою оцінки ефективності структури локальних навігаційних систем, а в роботі [62] показано вплив структури радіолокаційної системи зворотного типу на критерій точності.

В роботі [63] викладено розлоге дослідження різних аспектів концепції локально-незалежного управління процесом розходження суден в ситуації небезпечного зближення. До таких аспектів, зокрема, відносяться: формалізація динамічних багато керованих систем суден, що взаємодіють, яким притаманне існування трьох системних станів, причому реалізація кожного із системних станів визначається типом їх взаємодії, теорія взаємодії декількох суден при розходженні в разі їх небезпечного зближення, а також розробки математичної моделі системи взаємодіючих суден в термінах теорії ієрархічних багаторівневих системи прийняття рішень.

Можливі типи взаємодії суден формалізуються процедурою визначення векторного і матричного ситуативних збурень для формування гнучких стратегій розходження, які побудовані на мінімаксному підході і не суперечать вимогам МППЗС-72 в частині маневрування. У роботі також запропоновано метод формування координаційного і реального каркасів, які формалізують складну взаємодію судна з навколишніми цілями і визначають структуру стратегії розходження.

Проблему безпечного розходження суден з позиції особливостей їх взаємодії, яка виникає при їх небезпечному зближенні та визначає взаємні обов'язки в процесі розходження залежно від початкової відносної позиції та статусу суден, розглянуто в роботі [64], в якій також проведено алгоритм бінарної координації взаємодії суден згідно з вимогами МППЗС-72 в частині маневрування суден при розходженні. В роботі започатковано стратегію екстреного розходження в разі надмірного зближення суден в умовах невизначеності їх подальшої поведінки та відсутності координації.

Робота [65] присвячена дослідженню концепцій управління суднами в процесі розходження, одним із яких являється локально-незалежне управління, що передбачає незалежне прийняття рішення кожного із суден про власний маневр розходження в рамках вимог діючої системи узгодження маневрів розходження. Тепер такою системою являється МППЗС-72 в частині маневрування суден при небезпечному зближені.

Інша концепція управління суднами при розходженні полягає в повному зовнішньому управлінні групою суден, що небезпечно зближуються, коли зовнішнім управлінцем визначається загальна стратегія розходження, яка є сукупністю взаємно узгоджених маневрів.

Для обох концепцій управління суднами при небезпечному зближенні розроблено способи вибору оптимальних безпечних стратегій розходження з врахуванням динаміки базового судна, які передбачають наявність навігаційних перешкод в районі маневрування суден. Для перевірки коректності запропонованих методів управління суднами при розходженні було проведено комп'ютерне імітаційне моделювання, яке продемонструвало позитивний результат.

Зараз локально-незалежне управління розходження суден в ситуації небезпечного зближення є основним методом тому, що при розвитку судноводіння він виник раніше. Тому основні наукові дослідження присвячені даному методу.

Метод розходження суден в морі зміщенням базового судна на лінію, що паралельна початковому шляху, розглянуто в монографії [66], в якому для розходження застосовується наступна стратегія - зміщення на лінію паралельну шляху під тим або іншим кутом до лінії початкового курсу. В роботі зазначається, що підвищення ефективності попередження зіткнень суден можливе створенням нових алгоритмів та інтелектуальних систем. В задачі застосовується критерій оптимальності, який являється комплексним і ураховує вимоги до безпеки, помітності, завчасності та економічності маневру. Цей критерій використовується для вибору оптимальної стратегії

розходження.

Питання управління судном розглянуті в роботі [67], в якій, також досліджено задачу розходження суден з використанням класифікації початкових ситуацій залежно від їх відносної позиції і параметрів руху.

Принципу локально-незалежного управління процесом розходження суден присвячена стаття [68], в якій показано, що безпечне розходження суден потребує координації їх маневрів розходження використанням узагальненого бінарного координатора.

Процедуру оцінки небезпеки зближення за допомогою області неприпустимих параметрів руху судна для ситуацій зближення судна з ціллю запропоновано для випадку, якщо швидкість судна більше швидкості цілі маневром розходження зміною курсу судна. Розроблено комп'ютерну програму для реалізації пропонованої процедури. Для оцінки рівня небезпеки зближення судна з ціллю і визначення параметрів безпечного маневру розходження зміною курсу судна приведено чисельний приклад. З метою реалізації маневру розходження зміною курсу судна одержано аналітичні вирази розрахунку моментів часу повороту судна в залежності від показників форми відносної траєкторії.

У статті [69] запропоновано алгоритм визначення областей взаємних обов'язків при небезпечному зближенні групи числом більш ніж двох суден. Показано, що при взаємодії двох суден, тобто бінарній координації, доцільно введення двох областей взаємних обов'язків, а при взаємодії трьох суден для їх координації необхідно використання дев'яти областей.

В ситуації небезпечного зближення трьох суден у статті [70] розглянуто систему координації їх взаємодії при розходженні, яка задовольняє вимогам закону необхідної різноманітності Ешбі. Причому визначено чотири основні області взаємних обов'язків суден, які залежать від статусів суден, їх швидкостей і суттєвих параметрів. Для першої області взаємних обов'язків визначена поведінка кожного з взаємодіючих суден.

В роботі [71] запропонована структура дворівневої системи координації, призначеної для узгодження взаємодії двох и трьох суден в разі їх небезпечного зближення, яка побудована на існуючій системі бінарної координації МППЗС-72.

Якщо виникає ситуація небезпечного зближення двох суден, то застосовується перший рівень дворівневої системи координації, а при небезпечному зближенні трьох суден використовується її другий рівень.

В розглянутій гібридній системі координації в якості першого рівня запропоновано МППЗС-72. В разі виникнення ситуації небезпечного зближення двох суден їх взаємодія визначається бінарним координатором МППЗС-72 і судна виконують передбачений маневр розходження. На першому рівні координатор аналізує відносну позицію суден і з врахуванням відповідних статусів адресує їм координуючі сигнали, по яким кожне із суден визначає взаємні обов'язки.

При небезпечному зближенні трьох суден використовується другий рівень гібридної системи координації, в якому для початкової ситуації зближення формуються також додаткові сигнали координації. Базовому судну координатором адресуються сигнали координації, які визначають його поведінку по відношенню до другого та третього суден, таким чином приписують йому тип маневру розходження.

При однакових сигналах координації відносно обох суден, які вимагають поступитися дорогою, базове судно має виконати ухилення зміною курсу чи швидкості від суден спільним маневром розходження для обох суден або двома послідовними маневрами для кожного із них.

Аналізу відповідності форм істинної та відносної траєкторій розходження присвячено роботу [72], в якій показано, що у випадку, коли швидкість судна менше швидкості цілі визначена залежність форми відносної траєкторії від форми істинної траєкторії, а в разі швидкості судна більшої швидкості цілі форми істинної та відносної траєкторій співпадають.

Форма істинної траєкторії розходження вибирається, виходячи з вимог МППЗС-72, в той час, як форма відносної траєкторії розходження визначає параметри маневру розходження. Тому в роботі розглянуто зв'язок форм відносної і істинної траєкторій розходження суден. В результаті проведеного аналізу показано, що в загальному випадку двом формам істинної траєкторії стандартної стратегії розходження в залежності від початкової ситуації зближення відповідають чотири форми відносної траєкторії розходження.

Установлено, що в разі швидкості судна більшої за швидкість цілі через пропорційну залежність відносного курсу від істинного курсу незалежно від сторони істинного ухилення форми істинної та відносної траєкторій співпадають. У випадку, коли швидкість судна менша швидкості цілі, має місце неоднозначне відображення двох форм істинної траєкторії розходження судна в множину чотирьох форм відносної траєкторії, що обумовлено специфічною залежністю відносного курсу від істинного курсу, яка характеризується як інтервалами зростання, так і інтервалами падіння.

В статті приведено приклади відображення форми істинної траєкторії розходження в множину форм відносної траєкторії розходження при ухиленні судна вправо і вліво від програмного курсу, які показують, що величина інтервалу зростання та інтервалу падіння відносного курсу визначаються відношенням швидкостей судна і цілі.

Систему бінарної координації взаємодії пари суден при небезпечному зближенні в разі їх стандартного розходження маневруванням зміною курсу судна розглянуто в статті [73], в якій встановлено, що формування системи бінарної координації потребує врахування вимоги закону необхідної різноманітності Ешбі. Тому в статті одержано умови, при яких виконуються вимоги закону необхідної різноманітності, що передбачає компенсацію ситуативного збурення маневрами обох суден, або одним судном з більшою швидкістю.

В роботі [74] для визначення наявності ситуативного збурення в ситуації зближення суден запропоновано спосіб формування областей неприпустимих

параметрів їх руху. Для локально-незалежного і зовнішнього управління процесом розходження суден проведено формалізацію меж областей неприпустимих значень курсів суден і їх швидкостей.

Оцінка рівня небезпеки та значення ситуативного збурення при зближенні суден, а також і вибір маневру їх розходження в разі існування загрози їх зіткнення, як показано в роботі [75], можливі за допомогою області неприпустимих значень параметрів руху базового судна, одержаної граничними ізостадіями.

В роботі одержано аналітичні вирази для розрахунку граничних ізостадій в разі відносного ухилення судна вліво і вправо, а також приведено графічне відображення області неприпустимих значень параметрів. Приведено опис процедури оцінки рівня небезпеки ситуації зближення суден і оперативного визначення параметрів маневру розходження.

В роботі [76] показано, що стислим районам інтенсивного судноплавства притаманні ситуації небезпечного зближення трьох суден, для яких відсутня координація за допомогою МППСС-72, що обумовлює дослідження в статті ситуації небезпечного зближення трьох суден, в результаті якого встановлено, що для попередження зіткнення система координації для кожного із суден вимагає певного типу поведінки (маневрування або збереження параметрів руху). Базове судно для попередження зіткнення формує гнучку стратегію розходження, яка складається із пріоритетного маневру, що враховує тип поведінки взаємодіючих суден, який приписується координатором, і містить резервний маневр для випадку ігнорування партнером своїх обов'язків.

Відмічається, що для попередження зіткнення переважним є маневр зміни курсу судна, що потребує розрахунку параметрів маневру ухилення з урахуванням відповідності форм траєкторій істинного і відносного руху.

В роботі [77] запропоновано розробку процедури для оцінки наявності небезпеки зближення судна з ціллю використанням областей неприпустимих значень параметрів руху судна. Якщо зближення небезпечне, то в разі

швидкості судна більшої від швидкості цілі можливий вибір маневру розходження зміною курсу судна за допомогою згаданої області. При швидкості судна меншої від швидкості цілі розглянуто інший спосіб визначення курсу ухилення судна для попередження можливого зіткнення. В разі обмеженості акваторії попередження зіткнення неможливе зміною курсу, то передбачається формування області неприпустимих значень параметрів руху судна для розходження зміною швидкості. В роботі за допомогою комп'ютерної програми реалізовані розглянуті процедури.

Області безпечних параметрів ухилення з траєкторії і виходу на траєкторію для оперативного визначення параметрів маневру розходження для заданої ситуації небезпечного зближення розглянуто в статті [78], в якій приведено процедуру оперативного визначення по згаданих областях маневру розходження судна з ціллю за допомогою імітаційної комп'ютерної програми.

Приведено приклад визначення комп'ютерною програмою параметрів маневру розходження за допомогою розглянутих областей для заданої ситуації небезпечного зближення.

В роботі [79] приведено метод формування області неприпустимих значень параметрів ухилення, за допомогою якої проводиться визначення значень безпечних часу і курсу ухилення судна. Отримано формули для розрахунку меж області безпечних курсів ухилення і часу повороту на ділянку виходу при заданому курсі виходу та запропоновано чисельний приклад оперативного визначення параметрів маневру розходження з використанням згаданих областей, межі яких розраховано комп'ютерною програмою.

В роботі [80] розглянуто принцип локально-незалежного управління процесом розходження, згідно якому безпечне розходження суден потребує координації їх маневрів розходження узагальненим бінарним координатором, яким зараз являється МППЗС-72. В статті запропоновано метод формування повної стратегії розходження судна при наявності другої цілі в ситуації

небезпечного зближення, яка прогнозує можливі варіанти розвитку ситуації зближення та ураховує вимоги системи бінарної координації.

Для ситуацій небезпечного зближення судна з ціллю, коли необхідно використання маневру розходження зниженням швидкості судна, в роботі [81] запропоновано метод визначення параметрів маневру активним гальмуванням за допомогою області неприпустимих параметрів руху судна.

В роботі приведено аналітичні вирази визначення величини оптимальної швидкості розходження та показано застосування пропонованого методу в вигляді комп'ютерної програми, що має модуль імітаційного моделювання, яким підтверджена коректність пропонованого методу.

Аналітичні вирази відображення межі безпечної області завданої форми з простору відносного руху в простір істинного руху приведено в роботі [82]. Представлено дослідження властивостей віртуальних областей, що забезпечують їх використання для процесу розходження. Розроблено комп'ютерну процедуру відображення віртуальних областей на електронній карті і запропоновано спосіб розходження базового судна з групою небезпечних цілей при наявності суден, що заважають, та навігаційних перешкод в районі маневрування, який характеризується простотою, оперативністю і наочністю.

В статті [83] приведено формули залежності меж безпечної області судна простору істинного руху від простору відносного руху, за допомогою яких запропоновано процедуру відображення віртуальних областей на електронній карті і розроблено оперативний та наглядний спосіб розходження судна з небезпечними цілями. Приведено приклад ситуації зближення судна з двома небезпечними цілями, для якої здійснено вибір безпечної стратегії його розходження зміною курсу із використанням віртуальних областей кругової форми.

Для ситуації зближення судна з двома цілями в роботі [84] пропонується спосіб формування областей неприпустимих значень параметрів руху судна

щодо кожної з них. Розроблено процедуру оцінки рівня небезпеки ситуації зближення по кожній цілі із застосуванням сформованих областей.

В роботі показано, що розходження можливе загальним ухиленням від двох цілей за рахунок застосування областей неприпустимих значень параметрів руху судна відносно кожної із цілей. В якості чисельних прикладів розглянуто три ситуації зближення судна з двома цілями.

В роботі [85] для локально-незалежного управління розглянуто спосіб розходження судна з двома небезпечними цілями маневром різночасових послідовних ухилень, для розрахунку параметрів якого одержано формульні вирази. Розроблено комп'ютерну програму, за допомогою якої розраховані параметри маневру розходження чисельного прикладу і результатами його програвання підтверджено коректність запропонованого способу.

Для локально-незалежного управління процесом розходження в роботі [86] розглянуто метод розходження судна з двома небезпечними цілями послідовними проти направленими ухиленнями з програмної траєкторії руху. В роботі описана розробка комп'ютерної програми розрахунку параметрів маневру розходження судна з двома небезпечними цілями і його подальшому імітаційному моделюванню. Наводиться приклад вибору комп'ютерною програмою оптимального маневру розходження для ситуації небезпечного зближення із заданими параметрами і приведені результати його перевірки імітаційним програванням, які підтверджують коректність розглянутого методу.

Принцип повного управління процесом розходження суден зовнішнім управлінцем, його основні особливості та переваги розглянуто в статті [87], в якій наголошується, що таким управлінцем може бути система управління рухом суден або автономна суднова комп'ютерна інформаційна система з аналогічними можливостями.

В статті указується, що основними методами зовнішнього управління процесом розходження суден являється формування областей неприпустимих значень параметрів руху суден, що зближуються, і їх

використання для визначення оптимального маневру розходження. За наявності достатнього водного простору в районі маневрування використовуються області небезпечних значень курсів суден, що зближуються. В разі існування навігаційних перешкод, що обмежують можливість зміни курсів суден, в роботі передбачено застосування областей небезпечних значень швидкостей. Можливості безпечного розходження зростають використанням області небезпечних значень курсів одного із суден і швидкостей іншого судна. За допомогою розглянутих трьох типів областей небезпечних значень параметрів руху пари суден, що небезпечно зближуються, розглянуто процедури оцінки рівня небезпеки ситуації зближення пари суден і визначення параметрів стратегії розходження.

Принцип зовнішнього управління процесом розходження суден розглянуто в роботі [88], висвітлено його переваги над локально-незалежним управлінням суден в ситуації небезпечного зближення. Описано формування і використання областей небезпечних значень параметрів руху суден, що зближуються, за допомогою яких можливі оцінка рівня небезпеки ситуації зближення і вибір маневру розходження, що являється основними методами зовнішнього управління процесом розходження суден. До таких областей відносяться області небезпечних курсів і їх небезпечних швидкостей, як і область небезпечних курсів одного із суден і швидкостей іншого судна.

Умова існування не порожньої множини маневрів розходження пари суден зміною їх швидкостей доказана у статті [89] і приведено формалізацію одержаної умови в залежності від вибраного режиму гальмування суден.

Спосіб відображення області небезпечних значень парних курсів двох суден, при яких дистанція найкоротшого зближення є меншою від гранично-допустимої дистанції, викладено в роботі [90], в якій також запропоновано графічний спосіб визначення безпечних курсів ухилення при розходжені трьох суден.

В роботі [91] показано, що в ситуації небезпечного зближення суден, коли неможливе безпечне розходження зміною курсу, при зовнішньому

управлінні попередження можливого зіткнення суден досягається використанням області небезпечних значень їх швидкостей, за допомогою якої вибирається маневр зміни швидкостей суден. В роботі приведено математичні вирази, які необхідні для формування областей небезпечних швидкостей, та приведено формулювання умови існування маневру розходження зміною швидкості, беручи до уваги інерційно-гальмівні характеристик суден.

В роботі [92] одержано формули для розрахунку гранично-допустимої дистанції зближення в разі використання безпечних доменів еліптичної і складної форм, за допомогою яких представлено графічну залежність гранично-допустимої дистанції зближення від початкового пеленга на ціль і її курсу.

В статті показано, що залежності гранично-допустимої дистанції зближення еліптичної і складної форм доменів від курсу цілі мало відрізняються один від одного і доцільне застосування тільки домену еліптичної форми.

В разі зовнішнього управління процесом розходження суден в роботі [93] запропоновано процедуру формування області неприпустимих значень курсу одного з суден і швидкості іншого судна, яка ураховує інерційно-гальмівні характеристики. В залежності від початкової ситуації небезпечного зближення і режиму гальмування судна приведено формульні вирази розрахунку меж області неприпустимих значень курсу і швидкості суден.

Описано комп'ютерну програму формування області небезпечних курсів одного судна і швидкостей іншого з урахуванням його інерційно-гальмівних характеристик та представлено результати застосування програми. Наведено приклади вибору безпечної стратегії розходження суден в разі застосування активного і пасивного режимів гальмування.

Стаття [94] присвячена способу розрахунку меж області неприпустимих значень швидкостей двох суден, що зближуються, застосуванням якого можливо оцінити рівень небезпеки ситуації їх зближення і в разі необхідності

провести вибір маневру розходження зміною швидкостей при зовнішньому управлінні процесом розходження. В якості прикладу розглянуто ситуацію розходження суден зниженням їх швидкостей пасивним гальмуванням.

Метод формування областей неприпустимих параметрів руху суден для оцінки небезпеки ситуації їх зближення і вибору маневру розходження розглянуто в роботі [95], для якого приведено формули для розрахунку меж областей неприпустимих значень курсу одного із суден і швидкості іншого судна в разі зовнішнього управління процесом їх розходження. В роботі також наведено чисельні приклади застосування пропонованого методу.

В роботі [96] проаналізовано вплив інерційних характеристик поворотності судна на значення дистанції найкоротшого зближення суден при виконанні маневру розходження суден зміною курсу та досліджено ситуацію, в якій базове судно виконує поворот на курс ухилення, а ціль зберігає незмінні значення курсу і швидкості. В дослідженні використана модель обертального руху судна з постійною кутовою швидкістю повороту, за допомогою якої розглянуто вплив інерційності судна на розміри області небезпечних курсів. В роботі запропоновано рекомендації безпечного розходження суден з урахуванням інерційних характеристик їх поворотності. Для підтвердження коректності одержаних результатів приведено чисельний приклад.

Дослідження по проблемі безпечного розходження суден також проводяться і за кордоном. У роботах закордонних дослідників [97-102] формалізовано основні поняття МППЗС-72 в частині виявлення небезпеки зіткнення і початку маневру розходження, приведено аналіз МППЗС-72 із пропозиціями по їх вдосконаленню, а також розглянуто питання виявлення факту надмірного зближення суден. Формульні вирази визначення гранично-допустимої дистанції найкоротшого зближення в умовах зниженої видимості та математичне обґрунтування оптимального управління судном при загрозі зіткнення в ситуаціях небезпечного зближення запропоновано в роботах [100,101,104,105].

В статті [103] формалізовано контроль і управління рухом судна, як багаторівневу система, що керує судновими системами при його переході між портами. Функціональні шари контролю формалізованої системи відповідають судновим підсистемам.

Як зазначається в роботі [104], процес управління рухом судна являється багатовимірним, якому притаманні нестаціонарні та нелінійні характеристики, причому задача визначення оптимального маневру розходження має ігровий характер. Вказані обставини обумовлюють значну складність формалізації і рішення цієї задачі, основні напрями розв'язання якої висвітлені в роботі.

Новий фузі-метод для забезпечення безпеки судноплавства запропоновано в статті [105], який являється додатком до системи СУРС/AIC, як засобу ухилення від зіткнення суден. Данні СУРС спільно з даними AIC вводяться в морську географічну інформаційну систему MGIS (Marine Geographic Information System), чим забезпечується розрахунок області знаходження судна та інерційних сил, що діють на нього. По одержаній інформації також визначаються моделі захисного кола і небезпечного індексу. Використанням аналітичної моделі системи MGIS проводиться точне прогнозування часу і позиції зіткнення, чим забезпечується можливість оператору СУРС прийняття своєчасних рішень щодо попередження зіткнення суден.

В роботі [106] розглянуто теорію та принцип дії автономної суднової системи ухилення від зіткнення CA (Collision avoidance) і приведено алгоритм ухилення від зіткнення, а також здійснено аналіз Правила ухилення від зіткнення COLREG., що Дослідження щодо автоматизації управління судном, як вказується в статті, характеризуються або класичним підходом, заснований на використанні математичних моделей та алгоритмів, або комп'ютерним напрямом, який базується на методології штучного інтелекту, а згадані підходи можуть бути викладені у відповідних категоріях.

Модель гри декількох об'єктів використано для розробки базової моделі

процесу розходження судна з цілями у ситуації небезпечного зближення та загрози зіткнення, яка розглянута у статті [107], яка характеризується нелінійними рівняннями параметрів стану та обмеженнями, що змінюються у часі. Запропонована модель управління процесом розходження в першому наближені подібна моделі багатокрокової матричної гри, що формалізована відповідною задачею лінійного програмування. Було проведено розробку комп'ютерної програми ігрового управління GSC для визначення безпечної стратегії розходження власного судна, яка підтвердила коректність отриманих аналітичним чином результатів для реальної навігаційної обстановки.

Для ситуацій небезпечного зближення декількох суден в роботі [108] розглянуто різні способи запобігання зіткненню суден, якими є радіолокаційні, оглядові і УКХ - радіохвильові, а також більш сучасні із застосуванням генетичного алгоритму, домену судна і теорії нечітких множин. Використання цих методів доцільно лише при бінарних взаємодіях між парою суден, чим обумовлена пропозиція в роботі для попередження зіткнень групи суден розробки розподіленого локального алгоритму пошуку, який передбачає спілкування кількох суден методом УКХ - радіохвиль один з одним в межах певної області. Пропонований алгоритм пошуку обчислює ризик зіткнення, згідно інформації від сусідніх суден.

Вдосконаленню методів зовнішнього управління рухом суден присвячено статтю [109], в якій використанням експертних знань на принципах повного зовнішнього управління процесом розходження суден засновано підходи формування безпечних траєкторій руху суден. Також пропонується спосіб планування траєкторій розходження суден із використанням алгоритмів їх узгодження без зовнішнього управлінця попередніми домовленостями, в результаті яких буде знайдено прийнятне для всіх суден коректне рішення.

Зараз цей спосіб тестується моделюванням на декількох випробувальних стендах, і згідно результатів тестування оптимальне рішення досягається при

швидкому процесі сходження та забезпечує безаварійні траєкторії розходження.

В статті [110] описана штучна нейрона мережа формування безаварійного ухилення в ситуаціях небезпечного зближення суден в морі. В роботі викладено шість методів оптимальної теорії ігор та показано, що визначення безпечної траєкторії руху власного судна при розходженні з іншими суднами незалежно від стану видимості можливе при застосуванні оптимальних алгоритмів керування методами теорії ігор. Здійснено порівняння безаварійного управління судном у ситуації небезпечного зближення методами кооперативної і антагоністичної ігор та приведено аналіз багатокрокових позиційних некооперативних та кооперативних ігор. Отримані теоретичні результати пройшли перевірку прикладами комп'ютерного моделювання небезпечного зближення судна із вісьмома зустрічними цілями.

Переваги та недоліки різних методів розрахунку індексу ризику зіткнення суден аналізуються у роботі [111], в якій запропоновано модель оцінки ризику зіткнення суден застосуванням комплексної площини, за допомогою якої можуть бути усунені недоліки моделі оцінки, запровадженої Kearon J, яка є широко використаною. Згідно запропонованої моделі розрахунок індексу ризику зіткнення будується для ситуацій тривимірним зображенням просторової кривої індексу ризику, побудова якого потребує мікрокомп'ютерного чіпу. Відмічається, що використання пропонованого методу доцільно в системах прийняття рішень по забезпеченню безаварійного судноводіння.

Роботи [112-120], які виконано здобувачем одноосібно або в співавторстві, присвячені створенню математичної моделі залежності інтенсивності аварій через зіткнення суден від суттєвих чинників та розробці показника ефективності способів визначення оптимальної стратегії розходження.

1.2. Вибір тематики дисертаційного дослідження.

Як показав аналіз розглянутих літературних джерел, основними аспектами вирішення проблеми зниження аварійності суден є підвищення надійності навігації шляхом забезпечення необхідного рівня точності проводки судна стислим маршрутом та попередження зіткнень суден за рахунок розробки сучасних методів визначення параметрів оптимальної стратегії розходження, яка формується з використанням можливостей комп'ютерних інформаційних технологій.

Як показує проведений аналіз, результати якого представлені в попередньому підрозділі, найбільш ефективним способом оцінки небезпеки зближення та вибору оптимального маневру розходження являється використання областей недопустимих параметрів руху суден, які застосовуються при локально-незалежному та повному зовнішньому управлінні процесом розходження суден.

Значна кількість пропонованих способів визначення оптимальної стратегії розходження обумовлює потребу розробки показника їх ефективності, який впливає на інтенсивність аварій через зіткнення суден, та створення математичної моделі її залежності від суттєвих чинників. Наявність такої моделі забезпечить визначення шляхів можливого зниження аварійності через зіткнення суден, що є перспективною і актуальною тематикою, чим обумовлюється її вибір для наукових досліджень даної дисертаційної роботи.

1.3. Висновки за першим розділом.

У першому розділі здійснено огляд літературних джерел і проведено аналіз основних напрямів вирішення проблеми зниження аварійності суден при їх плаванні в стислих водах. Показано, що до найбільш актуальних напрямів відносяться забезпечення необхідного рівня точності визначення

місця судна і кількісна оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах та розробка оперативних методів оптимального розходження суден для попередження їх зіткнень у стислих районах інтенсивного судноплавства. Розглянуто еквівалентні способи кількісної оцінки апріорної вірогідності безаварійного плавання судна в стислому районі та вплив похибок траєкторного управління на безпеку судноводіння. Приведено характеристики локально-незалежного і повного зовнішнього управління суднами в ситуації небезпечного зближення і показано, що вони являються незалежними принципами попередження зіткнень. Приведені різні підходи для реалізації цих принципів використанням областей недопустимих параметрів руху суден з метою вибору оптимального маневру розходження.

В розділі обґрунтовано вибір тематики дисертаційного дослідження, що присвячене розробці показника ефективності маневру розходження, який впливає на інтенсивність аварій через зіткнення суден, та створення математичної моделі залежності аварійності від суттєвих чинників.

Об'єктом дослідження є попередження зіткнення суден, а предметом дослідження є методи оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнення суден.

РОЗДІЛ 2.
ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Визначення теми наукового дослідження.

Як показує аналіз попереднього розділу, найбільш ефективним способом оцінки небезпеки зближення та вибору оптимального маневру розходження являється використання областей недопустимих параметрів руху суден, які застосовуються при локально-незалежному та повному зовнішньому управлінні процесом розходження суден.

Значна кількість пропонованих способів визначення оптимальної стратегії розходження обумовлює потребу розробки показника їх ефективності, який впливає на інтенсивність аварій через зіткнення суден, та створення математичної моделі її залежності від суттєвих чинників. А надалі шляхом порівняльного аналізу слід визначити найбільш ефективну аналітичну систему попередження зіткнень суден і дослідити можливість її подальшого покращення.

Для вирішення вказаної задачі необхідно, по-перше, провести формування способу оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден з урахуванням принципу управління процесом їх розходження та методів визначення параметрів оптимального маневру розходження.

По-друге, в стислих районах плавання з інтенсивним рухом суден слід сформувати процедуру визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації їх зближення. Після формування групи суден, що взаємодіють, необхідно вибрати їх спільний маневр безпечного розходження.

Тому, по-третє, потрібна розробка методу визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

Таким чином, проблема попередження зіткнень суден шляхом розробки сучасних способів вдосконалення процесу розходження з урахуванням переваг і недоліків існуючих аналітичних систем попередження зіткнень суден, реалізованих в комп'ютерній програмі, є перспективною і актуальною, чим і обумовлюється вибір теми дисертації в наступній редакції: «Вдосконалення методів попередження зіткнення суден врахуванням ефективності їх маневру розходження».

Для вирішення задачі по даній проблемі слід розглянути наступні питання:

- провести розділення головної задачі дисертаційного дослідження на складові задачі, використовуючи методи системного підходу;

- розробити спосіб оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден з урахуванням принципу управління процесом їх розходження та методів визначення параметрів оптимального маневру розходження;

- сформувати процедуру визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації їх зближення;

- для перевірки коректності методу розходження суден, який запропоновано в дисертації, провести комп'ютерне імітаційне моделювання вибраного маневру.

Необхідність подальшого підвищення рівня безпеки судноводіння і вдосконалення методів розходження суден в стислих водах визначають актуальність тематики дисертаційного дослідження.

Наукову новизну дисертаційного дослідження можуть скласти розробка способу оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден.

Економічна ефективність дисертаційного дослідження полягає в можливому скороченні збитків пов’язаних із зниженням рівня аварійності внаслідок запобігання зіткненням суден.

Можливість реалізації пропонованого наукового дослідження забезпечуються розробкою теоретичної частини роботи і її перевірка за допомогою імітаційного моделювання.

Об'єктом дослідження дисертації є попередження зіткнень суден.

Предметом дослідження є методи вибору оптимального маневру розходження суден в ситуації небезпечного зближення.

2.2. Технологічна карта дисертаційного дослідження та його методи.

Технологічна карта методологічного забезпечення дисертаційного дослідження приведена на рис. 2.1.

Необхідність підвищення рівня безпеки судноводіння і розробки сучасних оперативних методів визначення оптимального процесу розходження суден є сучасними запитами практики.

Метою дисертаційного дослідження являється підвищення безпеки судноводіння шляхом вдосконалення управління процесом розходження суден з урахуванням переваг існуючих аналітичних систем попередження зіткнень суден.

Наукова гіпотеза дисертаційного дослідження полягає у допущені про можливість підвищення оперативності і безпечності вибору параметрів оптимального маневру розходження суден шляхом застосування більш ефективних засобів їх визначення.

Головна задача дослідження полягає в розробці оперативного методу вибору маневру розходження з використанням характеристик найбільш ефективних аналітичних систем попередження зіткнень суден.

Для вирішення головної задачі дисертації методами теорії дослідження операцій було проведено її розділення на три незалежні складові задачі:

1. Формування способу оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден.

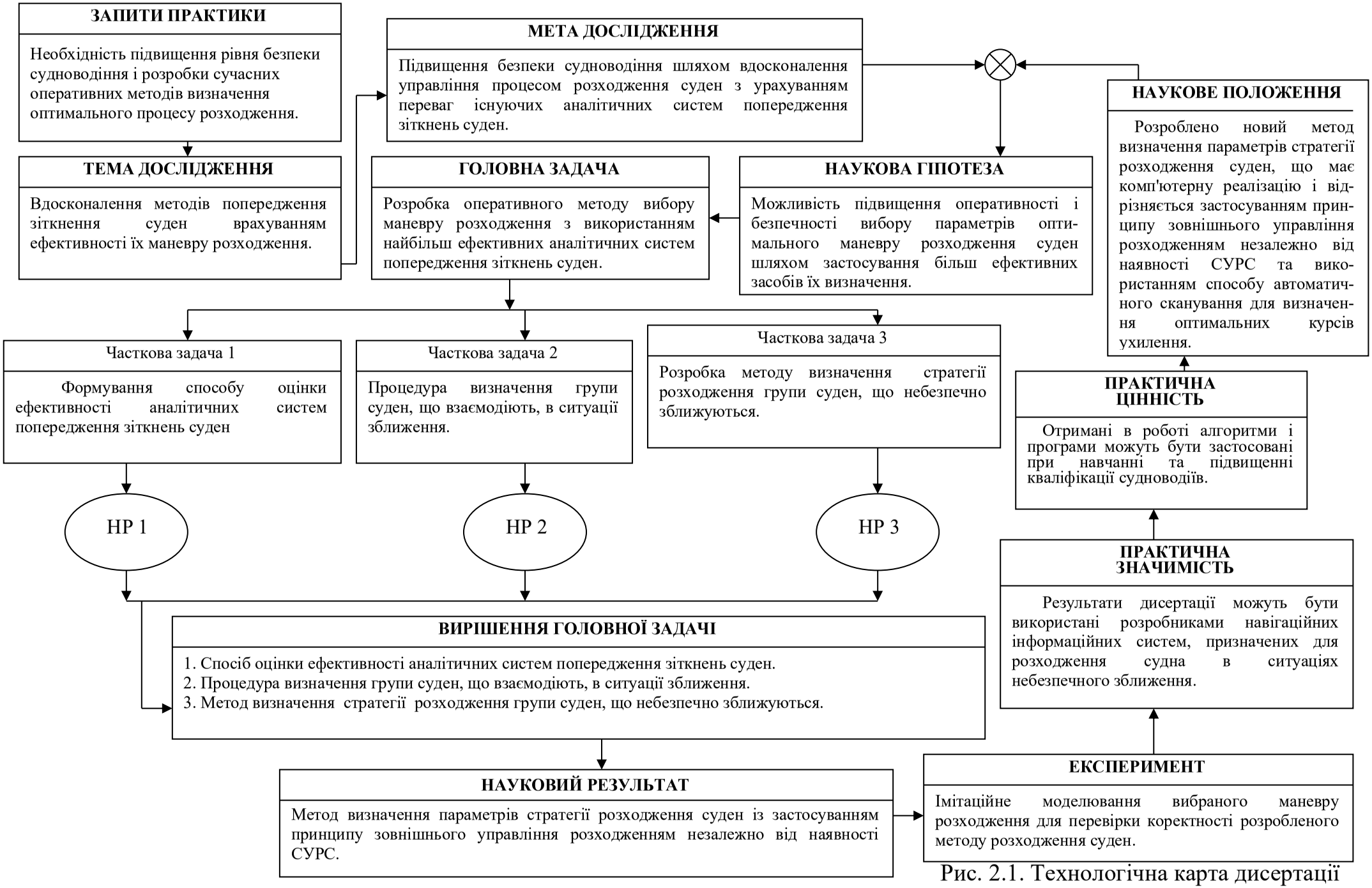

Рис. 2.1. Технологічна карта дисертації

2. Процедура визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення.

3. Розробка методу визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

Для формалізації першої незалежної складової задачі необхідно, перш за все, сформувати поетапне прийняття рішення по оцінці рівня небезпеки ситуації зближення суден і вибору маневру їх розходження. Для кожного із етапів прийняття рішення слід визначити його ефективність в залежності від особливостей аналітичної системи попередження зіткнень суден, що аналізується. Сумарна ефективність всіх етапів системи визначає ефективність системи. Таким чином проводиться оцінка існуючих аналітичних систем попередження зіткнень суден. Після цього проводиться порівняльний аналіз аналітичних систем попередження зіткнень суден по признаку ефективності, і визначається система з максимальною ефективністю.

Друга складова задача дисертаційного дослідження, яка присвячена процедурі визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення потребує розробки принципів характеристик взаємодії суден та їх формалізації. Якщо ці характеристики одночасно притаманні декільком суднам, то виникає група суден, що взаємодіють. Слід виділити параметри, що лімітують включення суден в групу взаємодії та поділяють судна, що зближаються, на взаємодіючі і на ті, що заважають.

Група суден, що взаємодіють, має формуватися судновою інформаційною системою, починаючи із свого судна і включаючи навколишні судна з обов'язковою їх згодою.

Для таким чином сформованої групи суден необхідно визначити спільну стратегію розходження, частини якої являються маневрами ухилення суден групи, що є третьою складовою задачею дисертаційного дослідження. Визначення спільної стратегії розходження проводиться судновою інформаційною системою, яка формує групу суден, що взаємодіють,

причому спільна стратегія розходження визначається мінімальною кількістю суден, що змінюють курси для безпечного розходження всієї групи.

Для перевірки коректності запропонованого методу визначення параметрів спільної стратегії розходження слід провести відповідне імітаційне моделювання, яке має передбачити:

- формування ситуації небезпечного зближення групи суден, коли виникає загроза їх зіткнення;

- визначення параметрів спільної стратегії розходження групи суден використанням мінімальної кількості суден, що змінюють свої курси для безпечного розходження всієї групи;

- розрахунок параметрів спільної стратегії розходження групи суден за допомогою сканування площин приросту курсів ухилення суден або способом комп'ютерного моделювання;

- імітаційне моделювання вибраного маневру розходження групи суден за допомогою комп'ютерної графіки.

В результаті рішення кожної із складових незалежних задач були отримані результати, які мають наукову новизну та позначені на технологічній карті методологічного забезпечення дисертаційного дослідження відповідно через НР1, НР2 і НР3:

- науковий результат першої складової задачі НР1 полягає в розробці способу оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден;

- процедура визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення є науковим результатом НР2 другої складової задачі;

- метод визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються, являється науковим результатом НР3 третьої складової задачі.

Використовуючи розроблену комп'ютерну програму, необхідно провести імітаційне моделювання перевірки результатів дисертаційного дослідження по коректності розробленого способу вибору безпечного маневру розходження групи суден зміною курсу.

Наукова гіпотеза про можливість підвищення оперативності і безпечності вибору параметрів оптимального маневру розходження суден шляхом застосування більш ефективних засобів їх визначення була підтверджена одержаними в дисертаційній роботі теоретичними результатами та імітаційним моделюванням.

Даному дисертаційному дослідженню притаманна практична значущість, що полягає у можливості використання його результатів розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для розходження судна в ситуаціях небезпечного зближення.

Одержані в роботі теоретичні результати і програми можуть бути застосовані при навчанні і підвищення кваліфікації судноводіїв, чим визначається практична цінність результатів дисертаційної роботи.

Отримані в дисертаційному дослідженні наукові результати і проведене імітаційне моделювання визначають його наукове положення, яке може бути сформульовано наступним чином:

Розроблено новий метод визначення параметрів стратегії розходження суден, що має комп'ютерну реалізацію і відрізняється застосуванням принципу зовнішнього управління розходженням незалежно від наявності СУРС та використанням способу автоматичного сканування для визначення оптимальних курсів ухилення.

2.3. Методика проведення дисертаційного дослідження.

В даному підрозділі представлено стислий виклад методики проведення дисертаційного дослідження.

За допомогою рекомендацій по організації і проведенню наукових досліджень, перш за все, слід провести аналіз основних напрямків проблеми забезпечення безаварійності судноводіння, чим визначається вибір теми дисертаційного дослідження.

Черговим другим кроком виконання роботи являється декомпозиція головної задачі дисертаційної роботи методами дослідження операцій на незалежні складові задачі, та її методологічне обґрунтування.

Наступним кроком дослідження являється формування поетапного прийняття рішення щодо оцінки рівня небезпеки ситуації зближення суден і, в разі небезпечного зближення, вибору маневру їх розходження. В залежності від типу аналітичної системи попередження зіткнень суден для кожного із етапів прийняття рішення необхідно визначити оцінку ефективності. Загальна ефективність всіх етапів системи має визначати її ефективність. Таким чином оцінюється ефективність всіх аналітичних систем попередження зіткнень суден.

Після визначення ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден проводиться їх порівняльний аналіз по ефективності, і визначається система, що характеризується максимальною ефективністю.

Подальшим дослідженням слід розглянути процедуру визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення, що потребує формування характеристик і формалізації взаємодії суден. В разі коли такі характеристики одночасно мають декілька суден, то це є ознакою групи суден, що взаємодіють. Тому необхідно виділити параметри, що лімітують включення суден в групу взаємодії, та поділяють судна, що зближаються, на взаємодіючі і на ті, що заважають.

Судновою інформаційною системою має формуватися група суден, що взаємодіють, починаючи із свого судна, і включає навколишні судна з обов'язковою їх згодою.

Надалі для сформованої групи суден слід визначити параметри спільної стратегії розходження зміною курсів суден, складові якої являються маневрами ухилення всіх або частини суден сформованої групи. проводиться Судновою інформаційною системою, яка формує групу суден, що взаємодіють, також визначається спільна стратегія їх розходження, причому

вона визначається мінімальним числом суден, що змінюють свої курси, з метою безпечного розходження всієї групи.

В завершення дослідження слід розробити модуль імітаційного моделювання одержаного маневру розходження зміною курсу суден групи для підтвердження обґрунтованості способу вибору маневру розходження при небезпечному зближенні групи суден.

2.4. Висновки за другим розділом.

В розділі здійснено обґрунтування методологічного забезпечення дисертаційного дослідження, проведено вибір його теми і основні напрямки.

Також в другому розділі дисертаційної роботи приведено технологічну карту дослідження, яка містить методологічну структуру дисертаційного дослідження і приведено його методологічне забезпечення.

Технологічна карта містить мету дисертаційного дослідження та його головну задачу, для якої проведена декомпозиція на три складові задачі. Сформульовано і підтверджено робочу гіпотезу дисертації, одержано наукові результати, що мають новизну.

У другому розділі також приведено практична цінність дисертаційного дослідження, яка полягає в можливості впровадження практичних результатів дисертаційної роботи, та сформульовано її основне наукове положення.

В останньому підрозділі розглянуто методику рішення складових задач дисертаційного дослідження, яка описує основні етапи його виконання.

РОЗДІЛ 3.
ОЦІНКА БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ І МЕТОДИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ

У даному розділі приведені матеріали і методи, які необхідні для вирішення головної задачі наукового дослідження з вибраної тематики дисертації.

3.1. Апріорна оцінка вірогідності безпечної проводки судна обмеженим маршрутом.

Як відомо, причиною аварії суден є посадки на мілину і навалювання через позиційні похибки, зіткнення суден, а також посадку на мілину і навалювання через похибки управління.

Тому аварійність суден доцільно характеризувати потоками аварійних подій по кожній з вказаних причин, які є незалежними і в першому наближенні їх можна розглядати, як прості (стаціонарні пуассонівські) потоки.

Число аварійних подій сумарного потоку, виникаючих протягом інтервалу часу τ, розподілене за законом Пуассону з математичним очікуванням [122]:

$$a_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma}\tau,$$

де λ_{Σ} - інтенсивність сумарного потоку, яка рівна середньому числу аварійних подій, що виникають в одиницю часу.

Основною характеристикою безпеки судноводіння є вірогідність безаварійного плавання, яка є вірогідністю відсутності аварійної події протягом інтервалу часу τ, яка в загальному випадку, як показано в роботі [46], визначається виразом:

$$P_b(\tau) = e^{-\lambda_\Sigma \tau}.$$

Інтенсивність сумарного потоку λ_Σ виражаються формулою:

$$\lambda_\Sigma = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3,$$

де λ_1 - інтенсивність аварійних подій внаслідок посадок на мілину і навалювання через позиційні похибки;

λ_2 - інтенсивність аварійних подій внаслідок зіткнень суден;

λ_3 - інтенсивність аварійних подій внаслідок посадок на мілину і навалювання через похибки управління.

Значення інтенсивностей, λ_2 і λ_3 можуть визначатися за статистичними даними або оцінені за допомогою розроблених математичних моделей. Для виявлення чинників, які впливають на вірогідність безаварійного плавання, потрібна розробка математичних моделей для розрахунку інтенсивностей, λ_2 і λ_3.

У справжньому підрозділі спочатку розглянемо математичну модель для оцінки інтенсивності, основною причиною якої є векторіальні позиційні похибки. У роботі [45] розглянута процедура оцінки вірогідності безаварійного плавання судна P_b в обмежених умовах по вибраному маршруту, яка залежить від наступних основних істотних чинників: характеристик точності проводки судна, забезпечуваною системою навігаційного устаткування; параметрів обмеженості допустимої області плавання; вибору програмної траєкторії руху в допустимій області плавання, від чого залежить співвідношення нормальних відстаней до меж безпечної області, і довжини програмної траєкторії.

Отже, кожна проводка судна по маршруту в обмежених умовах зв'язана з вірогідністю виникнення аварії $1 - P_b$. Тому число a_1 можливих посадок

суден на мілину внаслідок впливу векторіальних позиційних похибок за інтервал часу τ залежить від частоти попадання судна в обмежені води q:

$$a_1 = \lambda_1 \tau = (1 - P_{bm}) q \tau,$$

де P_{bm} - усереднене значення вірогідності безаварійного плавання судна P_b в обмежених умовах.

З останнього виразу:

$$\lambda_1 = (1 - P_{bm}) q,$$

причому частоту q в першому наближенні можна оцінити відношенням середнього часу перебування суден в обмежених водах до середнього експлуатаційного періоду протягом року, яке для морських суден складає близько 0,2 [48].

Отже, остаточно:

$$\lambda_1 = 0{,}2(1 - P_{bm}).$$

Очевидно, зменшення інтенсивності λ_1 можливе зниженням вірогідності P_{bm} шляхом вибору необхідних значень істотних параметрів, від яких залежить величина P_{bm}.

У роботах [45,46] розглянута математична модель оцінки апріорної вірогідності безаварійної проводки судна P_b по вибраному обмеженому маршруту з його заданими характеристиками і двовимірною щільністю розподілу вірогідності позиційної траєкторної похибки $f_t(\Delta\varphi, \Delta w)$.

У даному підрозділі приведена математична модель оцінки інтенсивності, що виникає через векторіальні позиційні похибки. Для її визначення розглянутий метод кількісного визначення вірогідності безаварійного плавання судна P_b в обмежених водах по вибраному маршруту, яка залежить від наступних основних істотних чинників:

характеристик точності контролю місця судна, які забезпечуються системою навігаційного устаткування і виражаються в параметрах функції двовимірного розподілу векторіальної позиційної похибки; характеристик обмеженості допустимої області плавання; вибору програмної траєкторії в допустимій області плавання, що впливає на співвідношення нормальних відстаней до межі безпечної області, і довжини програмної траєкторії.

Приведена математична модель визначення вірогідності безаварійного плавання судна P_b по вибраному маршруту з відомими характеристиками і заданою двовимірною щільністю розподілу позиційної похибки $f_t(\Delta\varphi, \Delta w)$. Як вірогідність P_b вибрана апріорна вірогідність безпечної проводки судна по заданому маршруту.

Вся область безпечного плавання D судна по маршруту розбивається на підобласті, тобто $D = \bigcup D_j$, а векторіальну позиційну похибка $\bar{r}$ в процесі проводки судна описується виродженим стохастичним процесом, загальна щільність якого $f(\bar{r}) = \prod_{j=1}^{n} f(\bar{r}_j(t), \overline{m}_j, K_j)$, де $\overline{m}_j$ і K_j- відповідно математичне очікування і коваріаційна матриця похибки $\bar{r}$.

Вірогідність безпечного плавання є вірогідністю того, що дійсна траєкторія руху судна належить області D, тобто вірогідність того, що кожна точка траєкторії руху судна належить цій області. Оскільки рух судна в першому наближенні можна описувати лінійною моделлю, то траєкторія його руху є сукупністю n послідовних лінійних ділянок, кожний з яких – переміщення судна за інтервал часу $\Delta\tau$ між послідовними моментами корекції параметрів його руху.

Тому вірогідність того, що вся траєкторія руху судна належить області D, є вірогідністю того, що всі ділянки траєкторії руху судна одночасно належать області D:

$$P_{bn} = P(\bar{r} \in D) = \prod_{j=0}^{n} \iint_{D_{t+j\Delta t}} f(\bar{r}_j(t), \overline{m}_j, K_j) dS_j .$$

Отже, вірогідність безпечного плавання P_{bn} визначається аналітичним видом щільності розподілу, параметрами розподілу $\overline{m}_j, K_j$ позиційної похибки траєкторного управління судном, областю безпечного плавання D і положенням в ній програмної траєкторії руху судна, а також числом ділянок траєкторії, яке залежить від періоду часу $\Delta\tau$.

Останній вираз можна записати у вигляді:

$$P_{bn} = \exp\{\sum_{i=0}^{k} \ln \iint_{D_j} f(\bar{r}_j(t), \overline{m}_j, K_j) dS_j\}, \qquad (3.1)$$

де k - ціла частина відношення $s/(V_m \Delta t)$;

s - довжина програмної траєкторії;

V_m - середня швидкість руху судна по програмній траєкторії.

Розробленою комп'ютерною програмою для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна P_{bn} виконувалося імітаційне моделювання, в результаті якого генерувалися випадкові траєкторії руху судна щодо програмної, причому щодо кожної обсервованої крапки випадковим чином утворюється векторіальна похибка, яка розподілена згідно із законом Гаусу із заданим с. к. в. і нульовим математичним очікуванням, визначаюча істинне місце судна, а з'єднання всіх таких крапок є випадковою траєкторією. Програмою передбачено генерацію 1000 таких траєкторій і перевірка приналежності кожної з них допустимій області безпечного плавання D, як показано на рис. 3.1. Частина траєкторій, що належать області D, визначає вірогідність, яка відображається на інформаційному табло і співпадає із значенням, яке розраховане за допомогою виразу (1).

На рис. 3.1 приведена ситуація з неприпустимо низькою вірогідністю, чим викликана загроза посадки судна на мілину. Причиною такої низької вірогідності є несиметричне розташування програмної траєкторії руху щодо

меж безпечної області плавання і велика обмеженість маршруту відносно с. к. в. позиційної векторіальної похибки.

Пропонований спосіб оцінки вірогідності безаварійного плавання судна вимагає рішення задачі з використанням двовимірної щільності розподілу вірогідності векторіальної похибки і багатократного її інтегрування в межах безпечної області D, межі якої мають складну форму, чим обумовлена складність і трудомісткість практичної реалізації даного аналітичного способу оцінки вірогідності P_b.

Ця обставина послужила причиною розробки альтернативного способу визначення апріорної вірогідності, розглядаючи задачу в рамках одновимірного простору з використанням одновимірної щільності

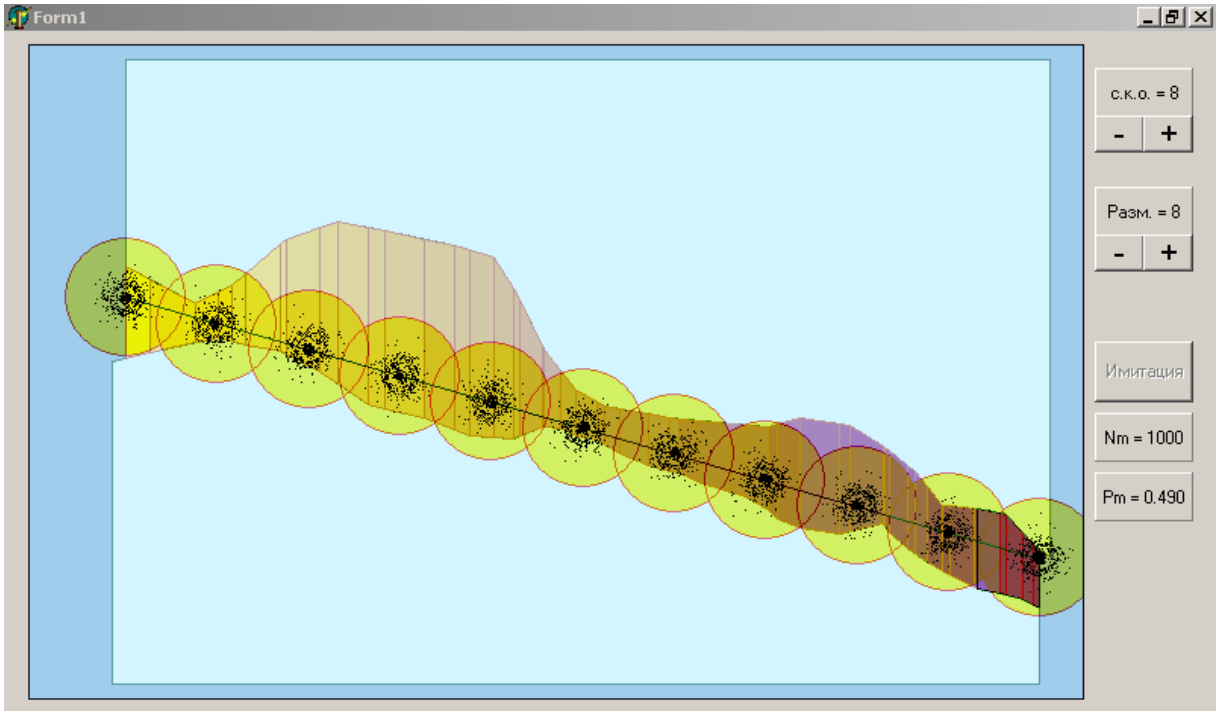

Рис. 3.1. Плавання судна з неприпустимою вірогідністю P_{bn}

розподілу похибки бічного відхилення судна щодо програмної траєкторії руху. У запропонованій моделі допустима область безпечного плавання

задана аналітичним описом її правої $G_{st}(X,Y)$ і лівої $G_{pt}(X,Y)$ меж у вигляді двовимірних масивів, як і програмна траєкторія руху судна, для кожної точки якої задана пара нормальних відстаней до правої $L_{st}(X,Y)$ і лівої $L_{pt}(X,Y)$ меж безпечної області, причому $(X,Y) \in Tr_{pr}(X,Y)$.

У аналізованих роботах одержаний аналітичний вираз для оцінювання вірогідності P безпечного плавання обмеженим маршрутом у разі альтернативної одновимірної моделі, яке має наступний вигляд:

$$P = \exp\left\{ s \int_{bmin}^{bmax} \varphi(b) \ln\left\{ \int_{\delta bimin}^{\delta bimax} \gamma(\delta_b, b)\left[F\left(\frac{b}{2} - \delta_b\right) + F\left(\frac{b}{2} + \delta_b\right)\right] d\delta_b \right\} db \right\},$$

у якому прийняті наступні позначення:

s - довжина програмної траєкторії;

b_{min} і b_{max} - відповідно мінімальне і максимальне значення ширини b допустимої області;

$\varphi(b)$ - розподілом частот по значеннях ширини b допустимої області;

δ_{bmaxi} і δ_{bmini} - відповідно максимальне і мінімальне значення зсуву δ_b програмної траєкторії руху судна;

$\gamma(\delta_b, b)$ - безумовний розподіл частот появи зсуву δ_b залежно від значення ширини b допустимої області;

F - функція розподілу вірогідності похибки бічного відхилення.

Безпека судноводіння в обмежених умовах також залежить від векторіальної похибки управління судном, причому вказана залежність визначає інтенсивність λ_3 аварійних подій внаслідок посадок судна на мілину через векторіальну похибка управління і одержана в роботі [46], в якій представлена модель формування векторіальної похибки управління, що є сумою систематичної і випадкової складових. У роботі показана залежність

величини систематичної похибки управління від вибору динамічної моделі поворотності судна.

Поява векторіальної похибки щодо прогнозованої точки виходу судна на новий курс після завершення повороту судном викликана наступними обставинами.

Розрахунок моменту часу початку повороту t_n проводиться з урахуванням динамічної моделі обертального руху судна, яка визначає прогнозовану траєкторію його руху, відмінну від реальної криволінійної траєкторії, чим і викликане виникнення систематичної похибки Δt_n у визначенні моменту часу початку повороту судна t_n. Ця похибка є систематичною складовою $S^{(d)}$ векторіальної похибки управління.

Окрім систематичної похибки також з'являються випадкові векторіальні похибка перекладання керма $\Delta\beta_k$ і похибка моменту часу початку повороту Δt щодо розрахованого моменту часу t_n.

Момент часу початку повороту t_n розраховується з урахуванням вибраної динамічної моделі обертального руху судна, яке переміщається з швидкістю V_o. З урахуванням реальної траєкторії руху поворот слід починати у момент часу $\tilde{t}_n$, тому систематична векторіальна похибка $S^{(d)}$ визначається виразом:

$$S^{(d)} = V_o \mathrm{Abs}(t_n - \tilde{t}_n).$$

Векторіальна похибка управління судном складається як із систематичної, так і випадкової $S^{(c)}$ похибок, причому випадкова складова є сумою векторіальної похибки $S^{(\beta)}$ і векторіальної похибки $S^{(t)}$.

У роботі показано, що інтенсивність λ_3 аварійних подій внаслідок посадок судна на мілину через векторіальну похибка управління оцінюється виразом:

$$\lambda_3 = 0{,}2(1 - P_{bc}),$$

причому $P_{bc} = \prod_{j=1}^{n} \{[\sum_i \int_{a_i}^{a_{i+1}} \int_{f_{si}(x)}^{f_{pi}(x)} f_{pzn}(x,y)dydx][\sum_i \int_{a_i}^{a_{i+1}} \int_{f_{si}(x)}^{f_{pi}(x)} f_c^S(x,y)dydx]\}_j$,

де n – кількість поворотів на маршруті проводки;

a_i, $f_{si}(x)$, $f_{pi}(x)$ - параметри розділення безпечної області повороту судна на ділянки;

$f_{pzn}(x,y)$ - двовимірна щільність розподілу позиційної векторіальної похибки;

$f_c^S(x,y)$ - щільність векторіальної похибки управління.

Таким чином проводиться оцінка значень інтенсивностей λ_1 і λ_3, а питання визначення інтенсивності λ_2 аварійних подій внаслідок зіткнень суден дотепер залишається не вирішеним, що обумовлює потребу розробки математичної моделі залежності інтенсивності λ_2 від істотних чинників, наявність якої дозволить виявити шляхи можливого зниження аварійності від зіткнень суден.

3.2. Сучасні методи оцінки наявності загрози зіткнення суден, що зближуються, і вибору оптимальної стратегії розходження.

У роботах [63,65] розглядаються два різні підходи до рішення проблеми управління процесом розходження. Перший підхід полягає в локально-незалежному управлінні, який полягає в контролі кожним з суден поточного стану ситуації зближення і при появі ситуативного збурення його компенсація проводиться незалежними маневрами обох суден, з урахуванням координації маневрів, які дозволяють збільшувати дистанцію найкоротшого зближення. При появі ситуативного збурення ω між судами виникає

взаємодія Bz, задачею якої є прогноз поведінки суден при розходженні і формування адресних узгоджених стратегій кожному із взаємодіючих суден.

Взаємодія Bz визначає поведінку кожного із суден в процесі розходження і прогнозує зміну ситуації, а процес розходження є процесом компенсації ситуативного збурення, причому стратегія розходження G є алгоритм реалізації процесу розходження.

Взаємодія Bz реалізується за допомогою системи бінарної координації або координатора, на вхід якого подається вектор ситуації зближення F, а виходом є адресні сигнали судам β_1 і β_2 необхідні для безпечної розходження (рис. 3.2).

За допомогою адресного сигналу β_i і вектора стану F кожне з суден c_i здійснює вибір маневру розходження G_i з допустимої підмножини курсів ухилення, яке регламентується координуючим сигналом γ_i.

Другим підходом управління процесом розходження суден є повне їх управління зовнішнім агентом, який має в своєму розпорядженні можливість спостереження поточного стан процесу зближення і у разі появи ситуативного збурення ω формує загальну стратегію розходження для обох суден, переводячи небезпечне зближення в незбурений стан. Як такий управлінець може бути використана СУДС або суднова інформаційна система, встановлена на кожному із суден, яка вирішує задачу колективної компенсації ситуативного збурення, реалізовуючи одержану в результаті рішення індивідуальну стратегію. Зовнішній управлінець Ξ спостерігає вектор стану F ситуації S_{12} суден, що зближуються, і виробляє аналіз наявності ситуативного збурення ω, при появі якого проводиться вибір оптимальної стратегії (G_1, G_2). Маневри G_1 і G_2, як показано на рис. 3.3, адресуються судам c_1 і c_2, які здійснюють їх реалізацію.

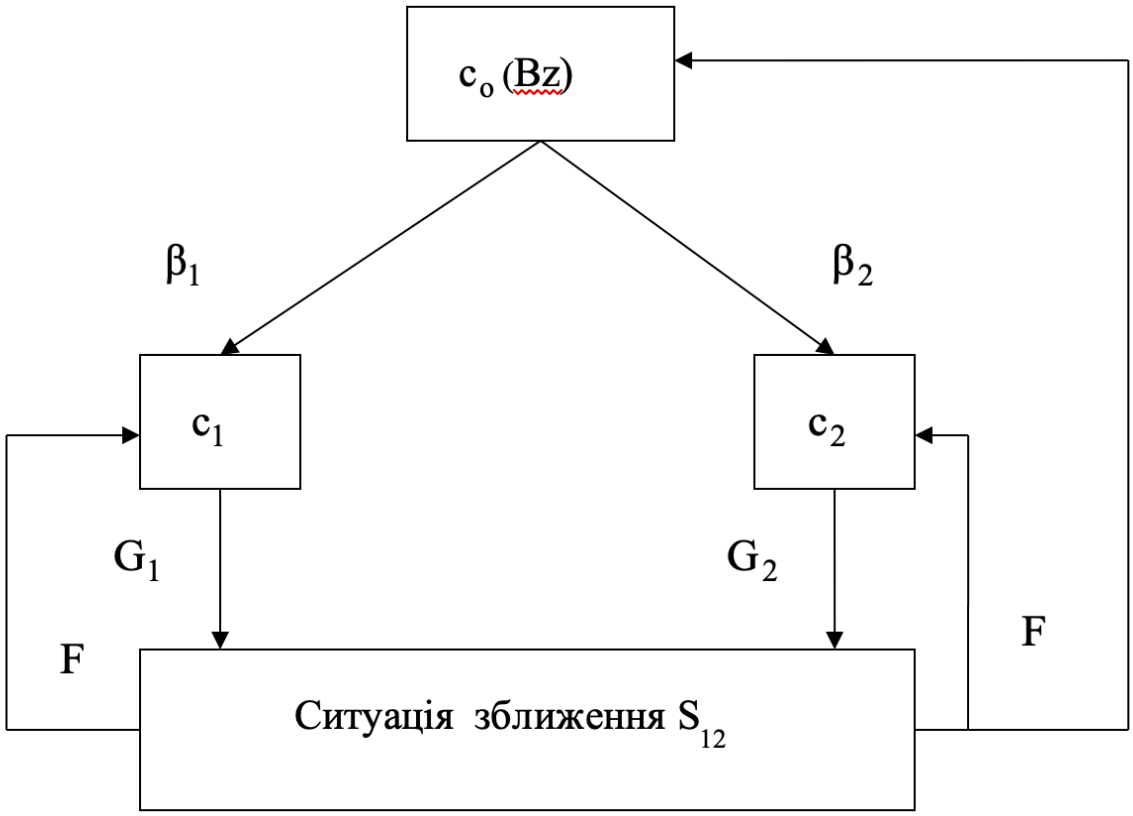

Рис. 3.2. Локально-незалежне управління процесом розходження суден

Основною перевагою повного управління процесом розходження зовнішнім управлінцем є однакова інтерпретація ситуативного збурення при виборі маневрів розходження G_1 і G_2, а також відсутність необхідності координації суден, що розходяться.

Компенсація ситуативного збурення ω проводиться на першій ділянці ухилення стратегії G, після завершення якого реалізується ділянка виходу на програмну траєкторію руху.

В даний час проводиться інтенсивна розробка методів оцінки наявності загрози зіткнення суден, що зближуються, і вибору оптимальної стратегії їх розходження за допомогою областей неприпустимих значень параметрів руху суден, які прийнятні як для локально-незалежного, так і повного зовнішнього управління процесом розходження суден.

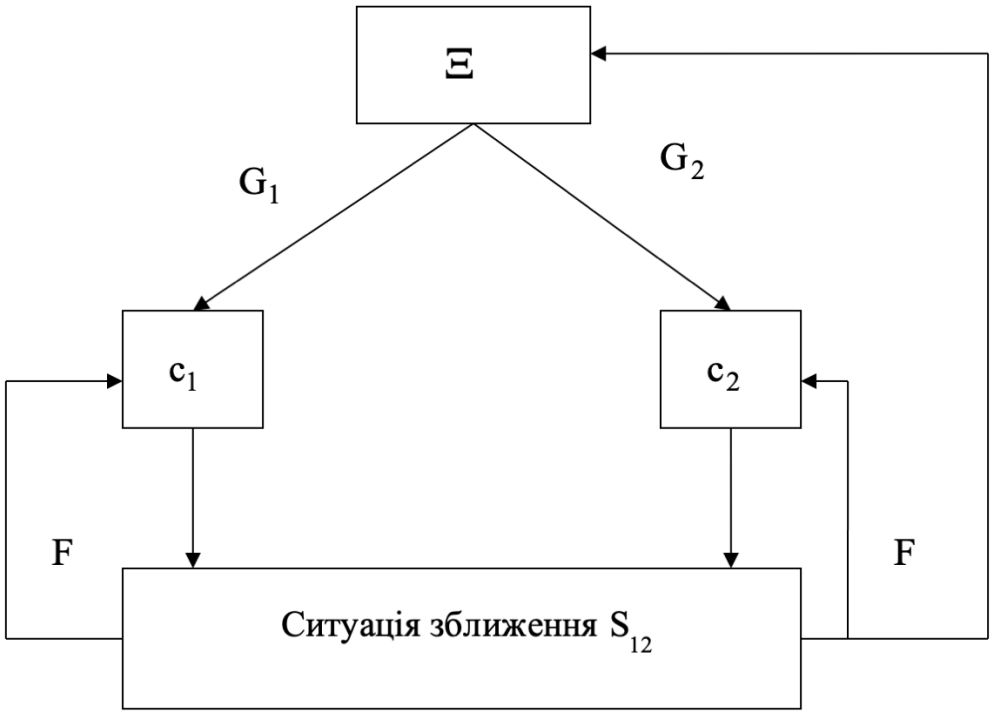

Рис. 3.3. Принцип повного управління процесом розходження суден

Принцип формування областей неприпустимих значень параметрів руху суден полягає в наступному.

Ситуація зближення двох суден характеризується їх взаємним положенням - пеленгом α і дистанцією D, а взаємне переміщення - відносним курсом K_{ot} і швидкістю V_{ot}. Наявність небезпеки зближення визначається співвідношенням величин прогнозованої дистанція найкоротшого зближення D_{min} суден і гранично-допустимої дистанції D_d зближення. Зближення суден небезпечне, якщо $\min D < D_d$. У разі їх рівності досягається межа між допустимими і небезпечними ситуаціями зближення, яка аналітично виражається таким чином [65]:

$$V_1(\sin K_1 \cos\gamma - \cos K_1 \sin\gamma) = V_2(\sin K_2 \cos\gamma - \cos K_2 \sin\gamma), \qquad (3.2)$$

де $\gamma = \alpha - \arcsin(\frac{D_d}{\Delta D})$;

α і D- пеленг і дистанція між судами;

Δ= -1, при $\sin(\alpha - K_{ot}) < 0$, інакше Δ=1;

K_1, V_1, K_2, V_2 - параметри руху суден.

Одержане рівняння при заданому значенні γ зв'язує значення параметрів руху суден K_1, V_1, K_2 і V_2, які в просторі істинного руху відповідають межі між множиною небезпечних і допустимих ситуацій зближень суден. Отже, в просторі істинного руху проекція межі (3.2) на площину, осями яких є параметри руху різних суден, тобто з чотирьох параметрів руху суден зафіксувати два параметри P_a і P_b, а що залишилися два P_x і P_yрозглядати, як змінні величини, дозволяє одержати залежність між параметрами P_x і P_y:

$$P_y = f(\gamma, P_a, P_b, P_x), \qquad (3.3)$$

яка представляє криву на площині, що є межею області Ω неприпустимих значень параметрів P_x і P_y. Для крапок $(\rho_x, \rho_y) \in \Omega$ зближення суден є небезпечним, а якщо крапки (ρ_x, ρ_y) знаходяться на межі області Ω або поза нею, те зближення безпечне і ситуація зближення допустима.

3.2.1. Застосування областей неприпустимих значень параметрів руху при зовнішньому управлінні процесом розходження суден.

При зовнішньому управлінні процесом розходження ситуація зближення пари суден спостерігається зовнішнім управлінцем і при появі загрози зіткнення формується стратегія розходження суден, яка передбачає зміну їх параметрів руху.

Якщо як змінні параметри P_x і P_y вибираються курси суден, що зближуються K_1, K_2, причому $P_x = K_1$ і $P_y = K_2$, а параметри V_1 і V_2 є незмінними, то вираз (3.3) описує межу області неприпустимих значень курсів пари суден [65].

В цьому випадку рівняння (3.2) записуємо у вигляді:

$$\sin(K_2 - \gamma) = \frac{V_1}{V_2}\sin(K_1 - \gamma),$$

з якого одержуємо рівняння межі (3.3) для області Ω_K неприпустимих значень курсів суден K_1 і K_2:

$$K_2 = \gamma + \arcsin\{\rho rcin(K_1 - \gamma)]\}, \qquad (3.4)$$

де $\rho = V_1/V_2$. Оскільки параметр γ приймає два значення $\gamma^* = \alpha - \arcsin\frac{d_d}{D}$ і $\gamma_* = \alpha + \arcsin\frac{d_d}{D}$, то область Ω_K має дві межі.

На рис. 3.4 показана область Ω_K для, яка відображається на розширеній площині курсів суден. Якщо крапка з програмними курсами знаходиться усередині області, то зближення суден є небезпечним. При необхідності виконання маневру розходження курси ухилення суден K_{1y} і K_{2y} вибираються так, щоб крапка (K_{1y}, K_{2y}) належала межі області Ω_K і мінімально відстояла від крапки (K_{1o}, K_{2o}).

У обмежених водах за наявності навігаційних небезпек іноді судна при небезпечному зближенні не можуть змінювати свій курс, тому для попередження їх зіткнення слідує змінювати швидкості. У такій ситуації змінних параметрів рівняння приймаються як швидкості суден, тобто

$P_x = V_2$ і $P_y = V_1$, а незмінними є їх курси K_1 і K_2. В цьому випадку формується область Ω_V неприпустимих значень швидкостей пари суден [91].

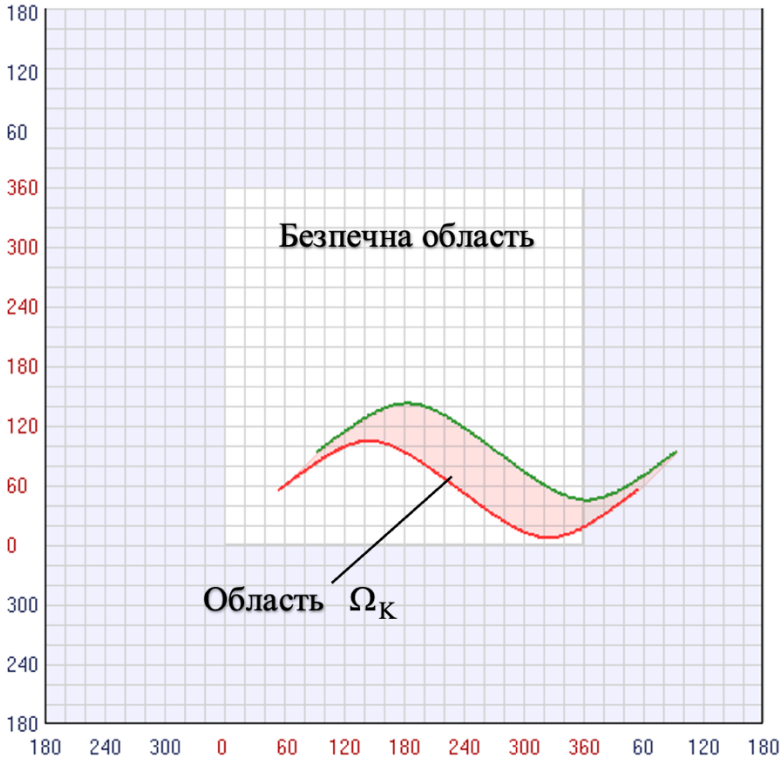

Рис. 3.4. Область небезпечних значень курсів Ω_K суден при $V_1 < V_2$

З урахуванням рівняння (3.2) вираз (3.3) приймає вигляд:

$$V_1 = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma)}{\sin(K_1 - \gamma)}.$$

Причому область небезпечних значень швидкостей Ω_V має межі:

$$V_1^* = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma^*)}{\sin(K_1 - \gamma^*)} \quad \text{і} \quad V_{1*} = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma_*)}{\sin(K_1 - \gamma_*)},$$

які є прямими лініями, як показано на рис. 3.5. Оцінка небезпеки зближення суден проводиться аналізом положення точки початкових швидкостей (V_{1o}, V_{2o}) щодо області Ω_V.

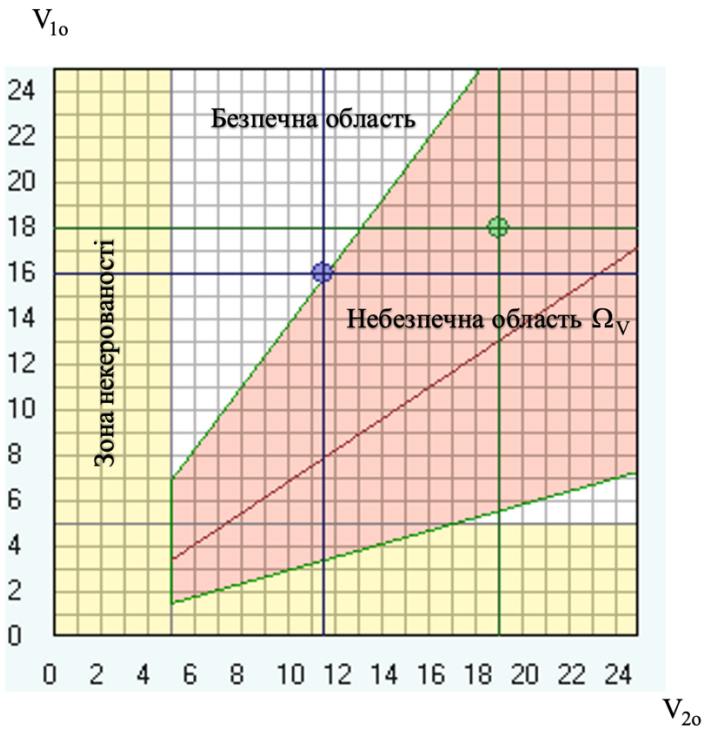

Рис. 3.5. Область небезпечних значень швидкостей Ω_V суден

Доцільно використовувати ще один тип стратегії розходження, при якому одне з суден змінює курс, зберігаючи незмінною швидкість, а друге судно на постійному курсі знижує свою швидкість. При даній стратегії слід розглянути область Ω_{KV} неприпустимих значень курсів одного судна і швидкостей іншого судна, коли як змінні параметри вибираються курс одного судна K_1 (K_2) і швидкість другого судна V_2 (V_1), тобто $P_x = V_2(V_1)$ і $P_y = K_1(K_2)$, а незмінними є параметри руху суден $K_2(K_1)$ і $V_1(V_2)$.

Як показано в роботі [95], рівняння межі області, як залежність швидкості другого судна від курсу першого судна, має наступний вигляд:

$$V_2^{(1,2)} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)})}{\mu^{(1,2)}},$$

де $\mu^{(1,2)} = \dfrac{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}$.

Очевидно, існує дві межі області Ω_{KV}, на яких досягається рівність $\min D = D_d$:

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

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

На рис. 3.6 область Ω_{KV} сформовано для ситуації небезпечного зближення суден з параметрами: α=130°, D=3 милі, K_1=130°, V_1=22 вузла, K_2=315°, V_2=18 вузлів, D_d=1 миля.

Звертаємо увагу, що для областей неприпустимих значень параметрів руху суден у разі, коли хоча б один з параметрів є курсом, істотною є форма суднового безпечного домену.

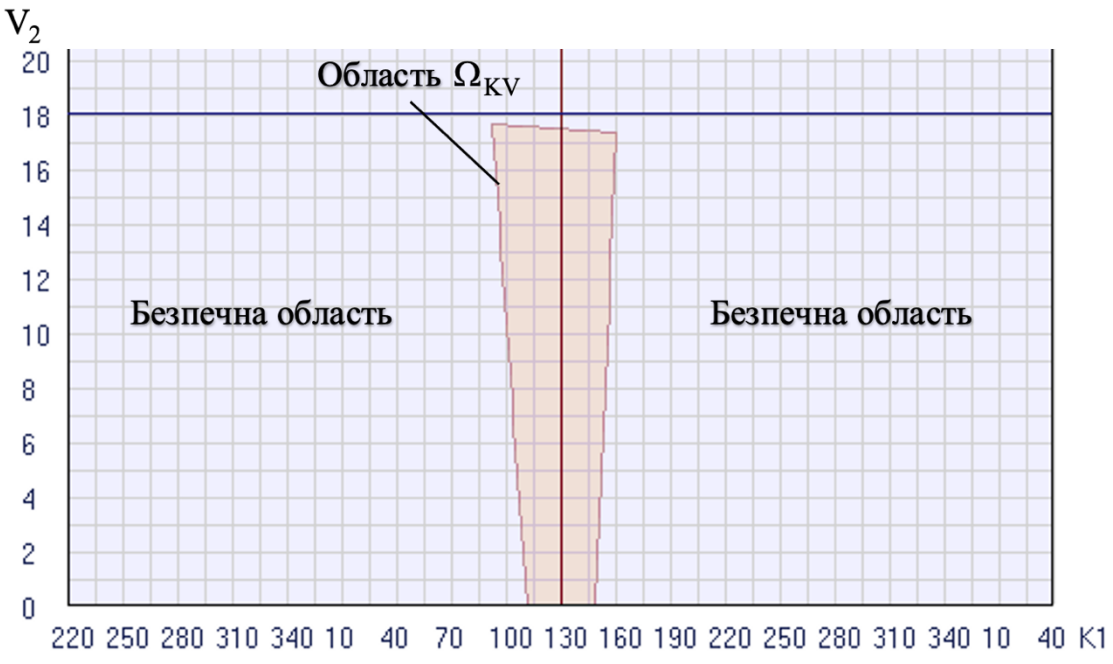

Рис. 3.6. Область Ω_{KV} небезпечних параметрів руху суден при $V_1 > V_{2n}$

У статті [123] запропонована процедура розрахунку меж області неприпустимих значень курсів суден у разі застосування суднового безпечного домену еліптичної форми. Встановлено, що існує два граничні курси: відносним ухиленням управо K_{ot}^{s} і відносним ухиленням вліво K_{ot}^{p}, лінія яких дотична до домену.

Гранично - допустимі дистанції зближення D_d^s і D_d^p при відносному ухиленні судна відповідно управо і вліво визначаються виразами:

$$D_d^s = D\left|\sin(K_{ot}^s - \alpha)\right|;$$

$$D_d^p = D\left|\sin(K_{ot}^p - \alpha)\right|. \qquad (3.5)$$

У роботі [124] показано, що граничні відносні курси K_{ot}^{s} і K_{ot}^{p} визначаються одним з чотирьох відносних курсів $\overline{K}_{y\min 1}$, $\overline{K}_{y\min 2}, \overline{K}_{y\min 3}$ і $\overline{K}_{y\min 4}$, після розрахунку яких відносні граничні курси ухилення судна K_{ot}^{s} і K_{ot}^{p} знаходиться з виразів:

$$K_{ot}^{s} = \max\{\overline{K}_{y\min 1}, \overline{K}_{y\min 2}, \overline{K}_{y\min 3}, \overline{K}_{y\min 4}\}.$$

$$K_{ot}^{p} = \min\{\overline{K}_{y\min 1}, \overline{K}_{y\min 2}, \overline{K}_{y\min 3}, \overline{K}_{y\min 4}\}.$$

Вирази для відносних курсів $\overline{K}_{y\min 1}$, $\overline{K}_{y\min 2}, \overline{K}_{y\min 3}$і $\overline{K}_{y\min 4}$ одержані в роботі [124] і мають наступний вигляд:

$$\overline{K}_{y\min 1,2} = arctg \frac{\overline{X}_o \pm b\sqrt{1-\frac{x_1^2}{a^2}}\sin K_c + x_1 \cos K_c}{\overline{Y}_o \pm b\sqrt{1-\frac{x_1^2}{a^2}}\cos K_c - x_1 \sin K_c},$$

$$\overline{K}_{y\min 3,4} = arctg \frac{\overline{X}_o \pm b\sqrt{1-\frac{x_2^2}{a^2}}\sin K_c + x_2 \cos K_c}{\overline{Y}_o \pm b\sqrt{1-\frac{x_2^2}{a^2}}\cos K_c - x_2 \sin K_c}, \qquad (3.6)$$

де x_1 і x_2:

$$x_1 = -\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2} + \sqrt{(\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2})^2 - \frac{a^2 c^2 (b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2 r^2)}},$$

$$x_2 = -\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2} - \sqrt{(\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2})^2 - \frac{a^2 c^2 (b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2 r^2)}},$$

причому $c = \frac{a^2}{b(\overline{Y}_o \sin K_c - \overline{X}_o \cos K_c)}$ і $r = (\overline{Y}_o \cos K_c + \overline{X}_o \sin K_c)$;

a і b - осі еліптичного домену.

Таким чином, для розрахунку межі області неприпустимих значень курсів суден у разі застосування домену еліптичної форми, задаючись значеннями K_c, спочатку за допомогою виразу (3.6) розраховуються граничні відносні курси, які визначають гранично - допустимі дистанції зближення по формулі (3.5). Потім, використовуючи вираз (3.4), обчислюється значення K_1 межі області неприпустимих значень курсів суден.

Як приклад на рис. 3.7 показана область S_{Dij}, побудована для еліптичного домену, велика вісь якого рівна 1 милі, а мала - 2/3 милі, для ситуації з параметрами: $\alpha = 150°$, $D = 3$ милі, $K_1 = 122°$, $V_1 = 22$ вузл., $K_2 = 351°$, $V_2 = 18$ вузл.

Як випливає з приведеного рис. 3.7, крапка, відповідна початковим курсам суден, знаходиться в області, що свідчить про небезпечне зближення і необхідність вибору маневру розходження. З цією ціллю на верхній межі

області, S_{Dij} відповідної відносному ухиленню управо, вибрана крапка з курсами $^{\circ} K_1 = 132$ і $^{\circ} K_2 = 3$ (рис. 3.7), яка є маневром розходження.

Звертаємо увагу, що при цьому маневрі розходження, позначеному на межі області S_{Dij} концентричними колами, дистанція найкоротшого зближення $L_m = 0{,}24$ милі і рівна гранично - допустимій дистанції ухилення управо D_{ds}.

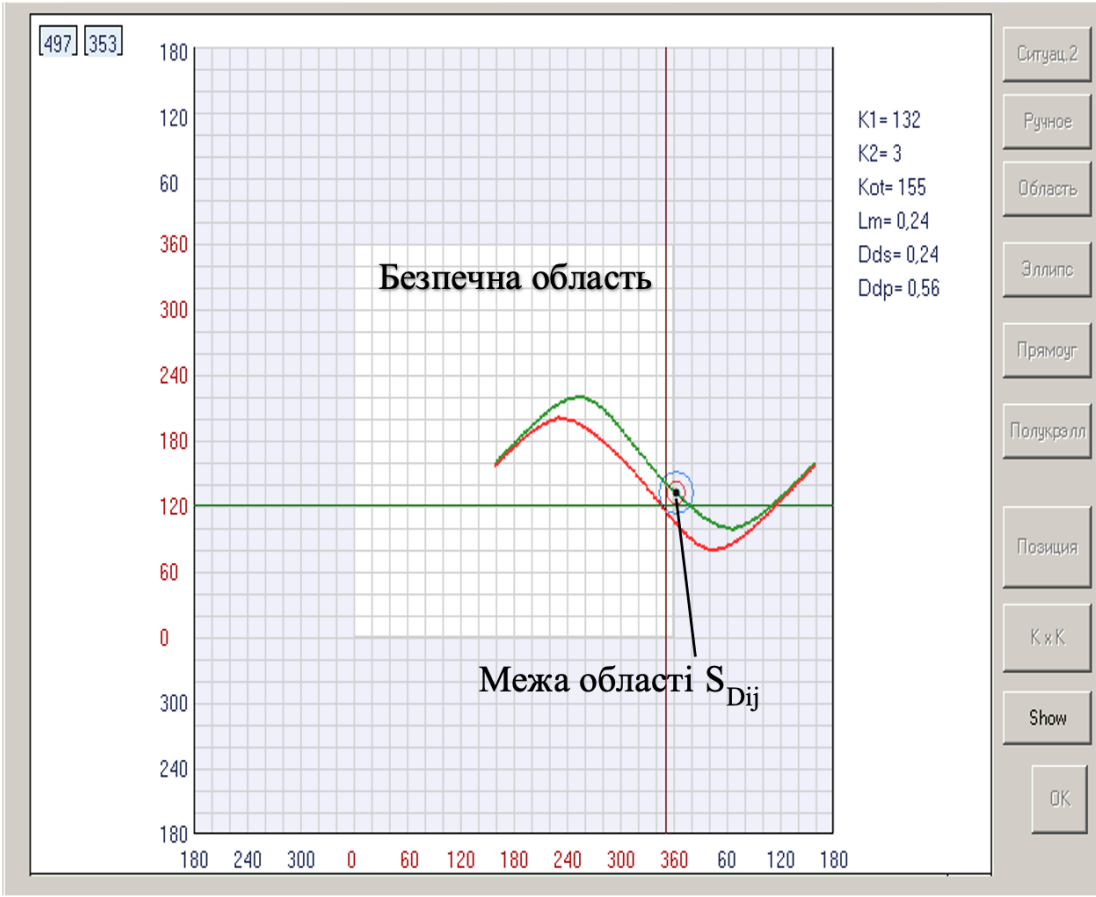

Рис. 3.7. Вибір маневру розходження відносним ухиленням управо

У статтях [125,126] розглянутий спосіб формування області неприпустимих значень курсів суден у разі застосування суднового безпечного домену прямокутної форми, в яких показано, що безпечну

область цілі $D_{\text{b}}^{(\text{Rt})}$ прямокутної форми доцільно задавати щодо центру цілі чотирма кутовими крапками A, B, C і D (рис. 3.8).

Положення кутових крапок A, B, C і D щодо центру задаються дистанціями D_n, D_k і кутами ψ_n, ψ_k, значення яких залежно від параметрів l_n, l_k і b безпечної області визначаються, як слідує із рис. 3.8, таким чином:

$$\psi_n = arctg\,\frac{b}{2l_n}, \qquad \psi_k = arctg\,\frac{b}{2l_k}, \quad D_n = \sqrt{\frac{b^2}{4} + l_n^2}, \qquad D_k = \sqrt{\frac{b^2}{4} + l_k^2}.$$

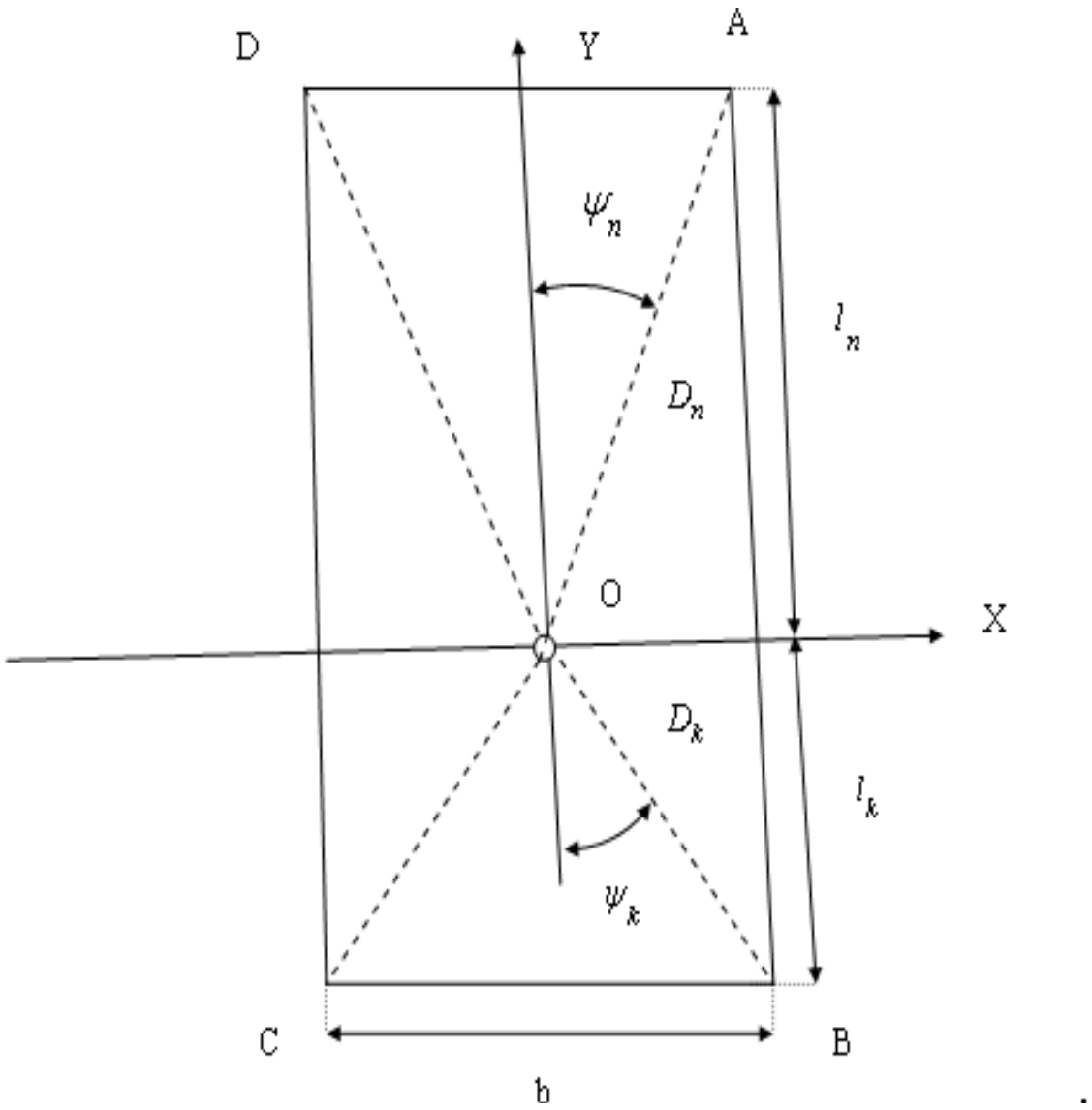

Рис. 3.8. Параметри безпечної області $D_{\text{b}}^{(\text{Rt})}$ прямокутної форми

Значення відносного курсу ухилення, що проходить через кутові крапки визначатиметься виразами:

$$\widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}I} = 360 + \overline{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}I}, \text{ при } \overline{Y}_I > 0; \qquad (I = \mathrm{A, B, C, D})$$

$$\widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}I} = 180 + \overline{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}I}, \text{ при } \overline{Y}_I < 0, \qquad (3.7)$$

де $\overline{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}I}$ визначається таким чином:

$$\overline{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}A} = arctg \frac{\overline{X}_o + D_n \sin(\psi_n + K_c)}{\overline{Y}_o + D_n \cos(\psi_n + K_c)},$$

$$\overline{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}B} = arctg \frac{\overline{X}_o + D_k \sin(\pi - \psi_k + K_c)}{\overline{Y}_o + D_k \cos(\pi - \psi_k + K_c)},$$

$$\overline{\mathrm{K}}_{\mathrm{yminC}} = arctg \frac{\overline{X}_o + D_k \sin(\pi + \psi_k + K_c)}{\overline{Y}_o + D_k \cos(\pi + \psi_k + K_c)},$$

$$\overline{\mathrm{K}}_{\mathrm{yminD}} = arctg \frac{\overline{X}_o + D_n \sin(2\pi - \psi_n + K_c)}{\overline{Y}_o + D_n \cos(2\pi - \psi_n + K_c)}.$$

Використовуючи одержані вирази, за допомогою формули (3.7) знаходимо значення відносних мінімального курсів ухилення $\widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}A}$, $\widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}B}$, $\widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{yminC}}$, $\widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{yminD}}$. Для вибору граничних відносних курсів ухилення $\mathrm{K}^{\mathrm{s}}_{\mathrm{ot}}$ і $\mathrm{K}^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ot}}$ скористаємося наступними співвідношеннями:

$$\mathrm{K}^{\mathrm{s}}_{\mathrm{ot}} = \max\{\widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}A}, \widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}B}, \widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{yminC}}, \widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{yminD}}\}.$$

$$\mathrm{K}^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ot}} = \min\{\widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}A}, \widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{ymin}B}, \widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{yminC}}, \widetilde{\mathrm{K}}_{\mathrm{yminD}}\}.$$

Безпечна область $D_b^{(Rt)}$ прямокутної форми відображена на рис. 3.9.

3.2.2. Використання областей неприпустимих значень параметрів руху у разі локально-незалежного управління розходженням суден.

У разі локально-незалежного управління процесом розходження вибір маневру розходження проводиться базовим судном зміною своїх параметрів руху K_1 і V_1 при допущенні постійності параметрів руху K_2 і V_2 цілі. Очевидно, змінними параметрами вибираються параметри руху судна, тобто $P_x = V_1$ і $P_y = K_1$, а вираз для межі області Ω_d неприпустимих значень параметрів руху судна приймає вигляд:

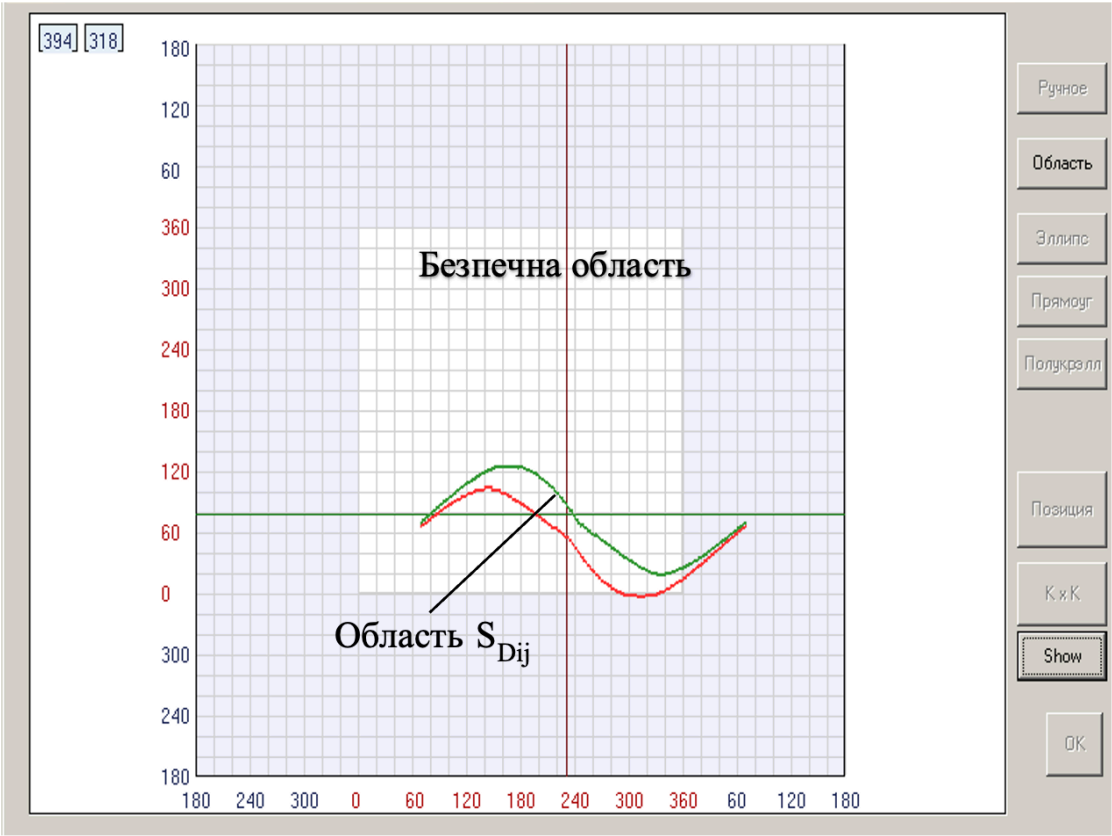

Рис. 3.9. Область S_{Dij} прямокутного домену при $V_1 > V_2$

$$K_1 = \gamma + \arcsin\frac{V_2\sin(K_2 - \gamma)}{V_1}.$$

З урахуванням двох значень параметра γ область, показана на рис. 3.10, обмежується двома кривими [127]:

$$K_1^* = \gamma^* + \arcsin\frac{V_2\sin(K_2 - \gamma^*)}{V_1} \quad \text{и} \quad K_{1*} = \gamma_* + \arcsin\frac{V_2\sin(K_2 - \gamma_*)}{V_1}.$$

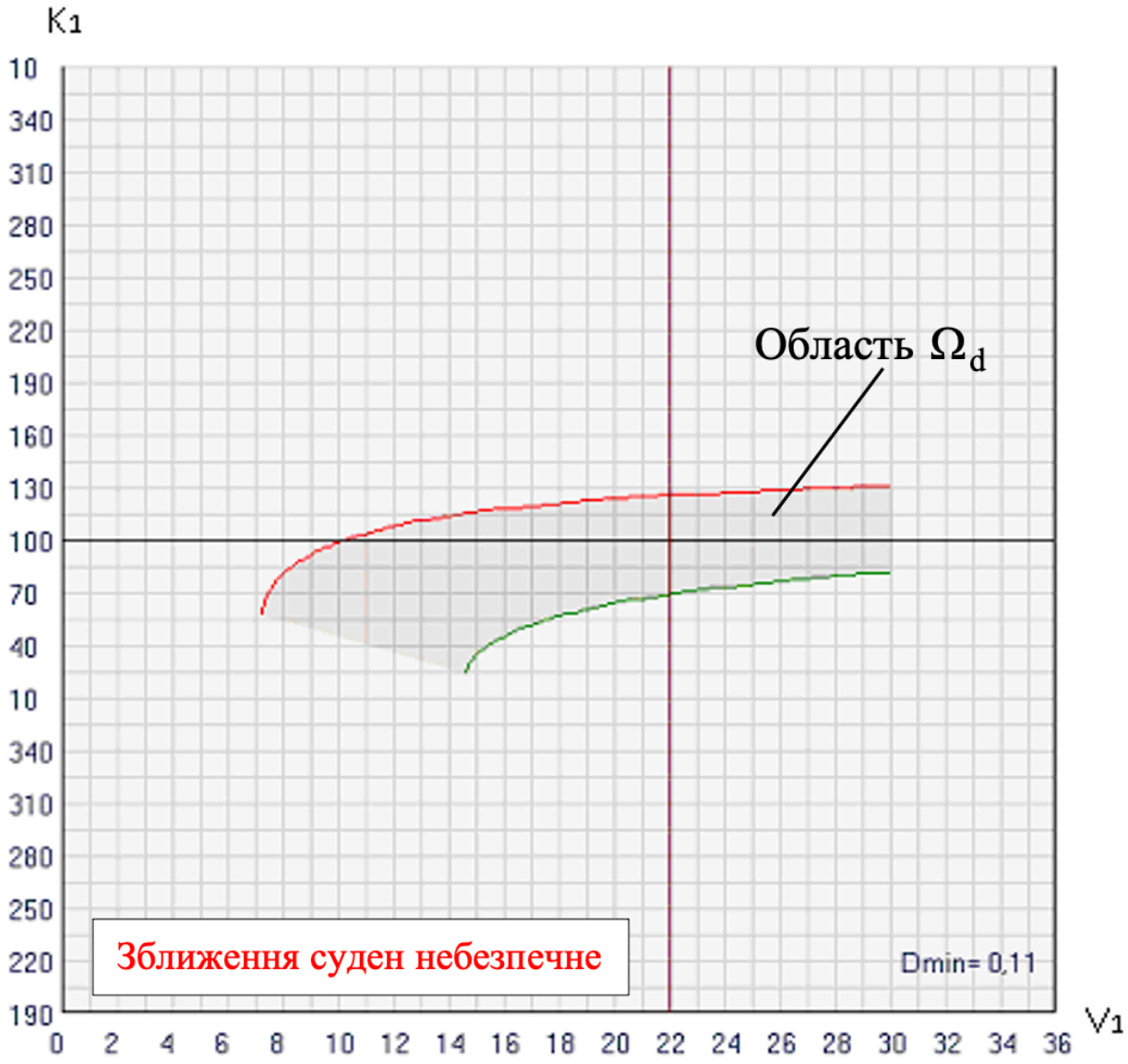

Рис. 3.10. Область неприпустимих параметрів руху судна Ω_d

У роботі [77] наголошується, наявність навігаційних небезпек або суден, що заважають, при небезпечному зближенні судна з ціллю в обмежених водах можуть створити ситуації, при яких розходження маневром зміни курсу неможлива, що обумовлює необхідність використання маневру розходження зміною швидкості. При цьому відбувається зниження швидкості судна шляхом активного або пасивного гальмування.

Приймається наступна стратегія розходження, при якій гальмування судна починається у момент часу t_0 і протягом часу гальмування τ швидкість зменшується до значення, після чого судно слідує з даною швидкістю до моменту часу найкоротшого зближення. Потім судно збільшує швидкість до початкового значення V_1. Слід визначити максимальне значення швидкості розходження, яку позначимо V_{1ym}, що забезпечує рівність дистанції найкоротшого зближення з гранично - допустимою дистанцією, тобто $\min D = d_d$.

У роботі показано, що шукану швидкість V_{1y} для активного гальмування розраховують з допомогою вираз методом простих ітерацій:

$$V_{1y} = \sqrt{\frac{P}{\mu}}\,tg\{arctg(\sqrt{\frac{\mu}{P}}V_1) - \rightarrow$$

$$-\frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)mV_2 sinK_2}\{X_1(\tau) - [\sin(K_{otp} + Arcsin\frac{d_d}{\Delta D_p})]/D_p\}\}, \qquad (3.8)$$

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

$D_p = \sqrt{(X_1(\tau) - X_2(\tau))^2 + (Y_1(\tau) - Y_2(\tau))^2}$, причому (3.9)

$$Y_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{1y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right| \cos K_{1y};$$

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

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

У разі пасивного гальмування:

$$V_{1y} = \frac{V_1}{1 + \frac{\mu V_1}{(1+k)m V_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{otp} + \operatorname{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] / D_p\}}, \qquad (3.10)$$

де $X_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right| \sin K_{1y}$, D_p визначається виразом (3.9),

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

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

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

Таким чином, межу неприпустимої області Θ_{dV} швидкостей V_{1y} і курсів K_{1y} методом простих ітерацій для активного гальмування слід розраховувати по формулі (3.8), а у разі пасивного гальмування - по формулі (3.10).

Для формування області Θ_{dV} і розрахунку її меж була розроблена комп'ютерна програма. Як приклад була розглянута ситуація небезпечного

зближення судна з ціллю з параметрами: $D = 2{,}1$ милі, $\alpha = 190^\circ$, $K_1 = 140^\circ$, $K_2 = 56^\circ$, $V_1 = 15$ вузлів, $V_2 = 20$ вузлів, $d_d = 1$ миля. Розрахунок межі небезпечної області Θ_{dV} для активного гальмування проводився методом простих ітерацій по формулі (3.8), а результати розрахунку області Θ_{dV} показані на рис. 3.11. Як випливає з приведеного рисунку, при незмінному початковому курсі судна $K_1 = 140^\circ$ безпечне розходження з ціллю можливе при зниженні швидкості активним гальмуванням до величини 0,4 вузли, тобто практично зупинкою судна.

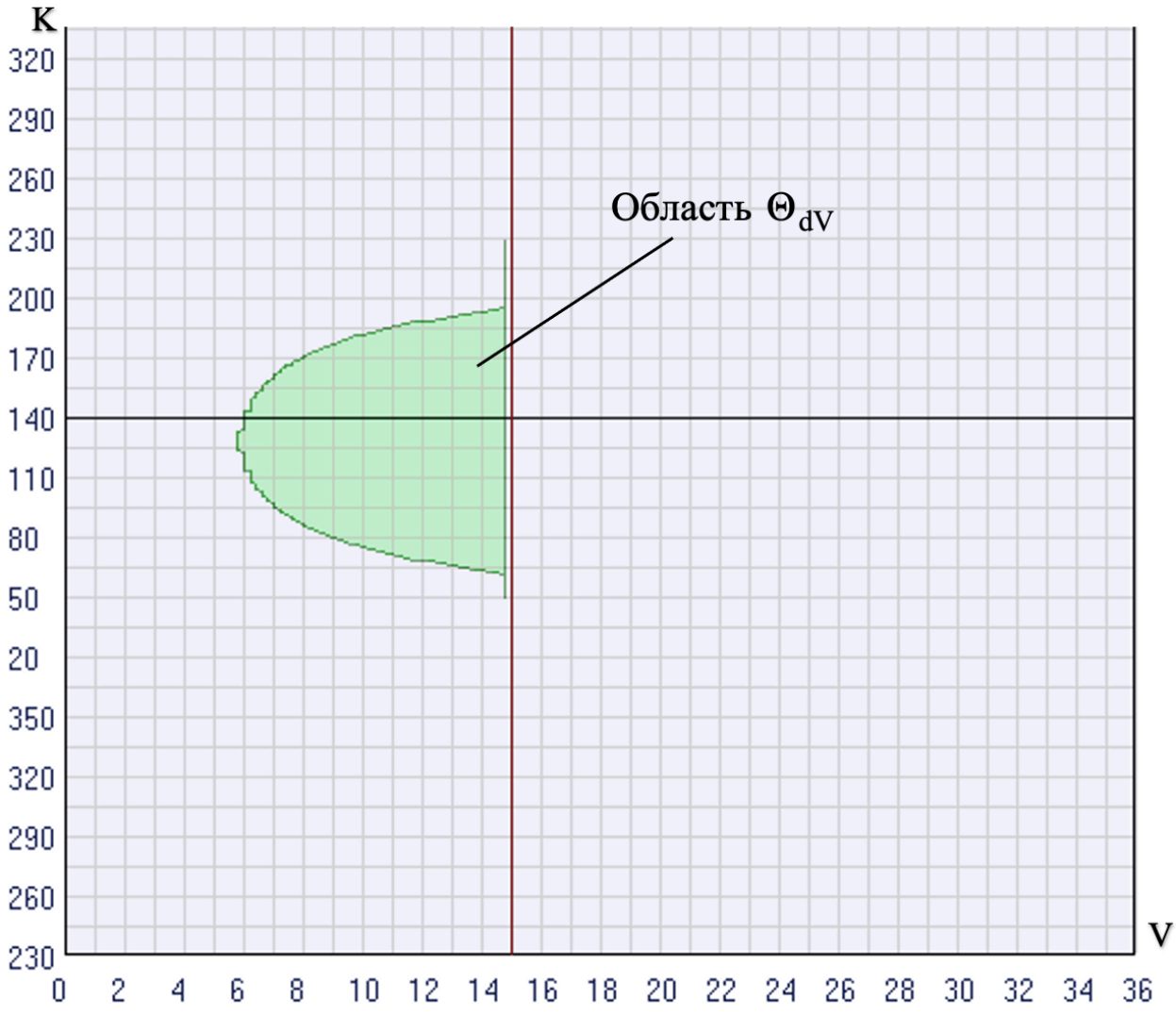

Рис. 3.11. Небезпечна область Θ_{dV} при активному гальмуванні судна

У разі пасивного гальмування межа небезпечної області Θ_{dV} розраховується методом простих ітерацій за допомогою виразу (3.10). Для небезпечної ситуації зближення розглянутою як приклад для активного гальмування була розрахована межа області Θ_{dV} при пасивному гальмуванні, яка показана на рис. 3.12. З рисунку видно, що при незмінному початковому курсі судна оптимальна швидкість розходження при пасивному гальмуванні рівна 6 вузлам. Звертаємо увагу, що при курсах судна менше 63° і більше 195° можлива безпечна розходження з ціллю без зниження швидкості судна.

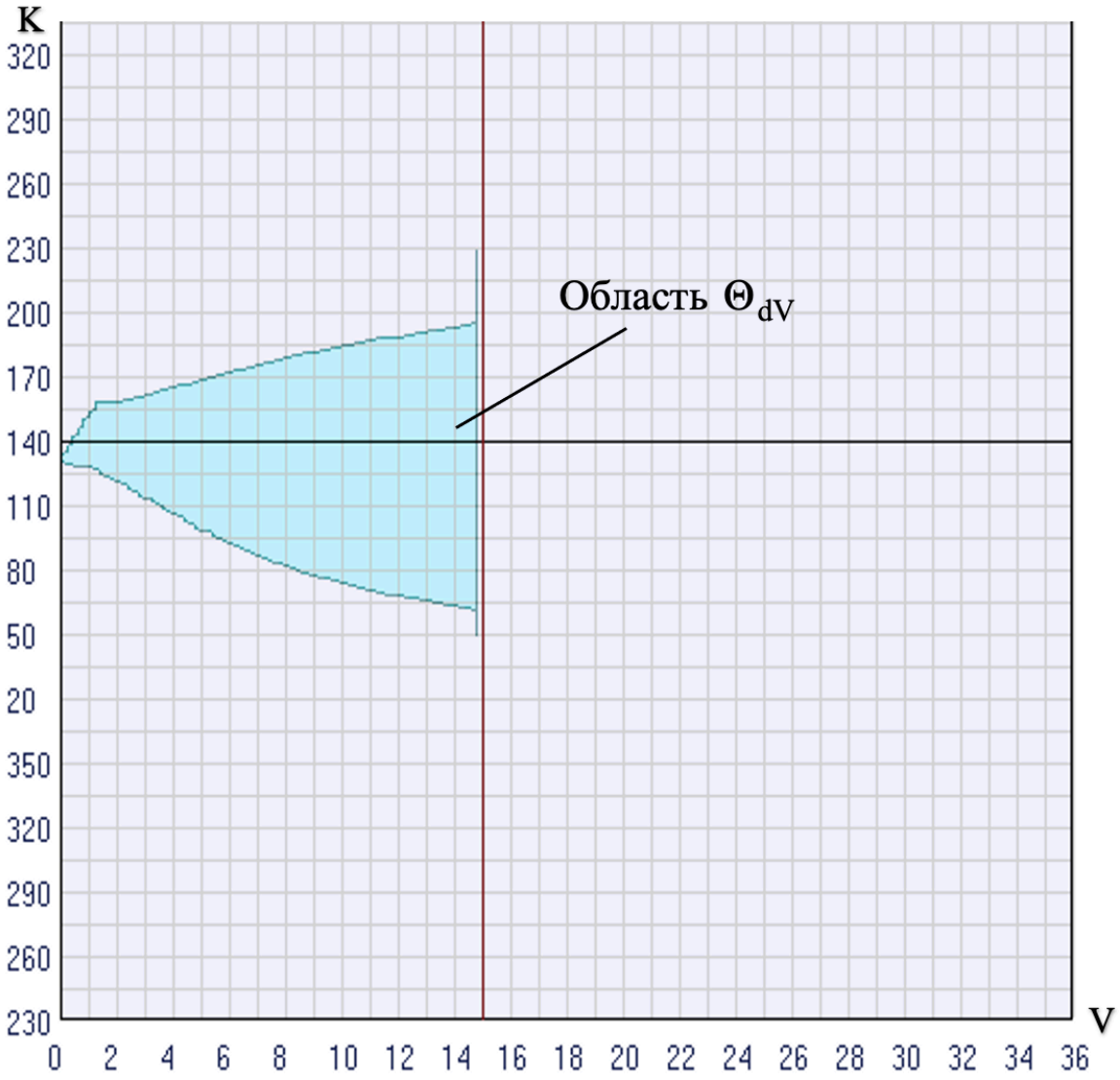

Рис. 3.12. Небезпечна область Θ_{dV} при пасивному гальмуванні судна

Якщо активним або пасивним гальмуванням судна при початковому курсі розходження неможливе, то необхідно визначити інший курс і відповідну йому оптимальну швидкість за допомогою небезпечної області Θ_{dV}.

У роботі [78] показано, що стандартний маневр розходження складається з двох етапів: ухилення від небезпечної цілі і повернення на програмну траєкторію руху. Момент часу початку ухилення t_y і курс ухилення K_y вибираються так, щоб дистанція найкоротшого зближення була рівна гранично – допустимої дистанції зближення.

Параметри ухилення t_y і K_y, які задовольняють даній умові, є кривою на площині $K_y \times t_y$, що розділяють її на дві частини: допустимих поєднань, як крапок (t_y, K_y), для яких дистанція найкоротшого зближення D_{min} перевершує гранично - допустиму дистанцію D_d, тобто $D_{min} > D_d$, і неприпустимих крапок, для яких $D_{min} < D_d$. Область крапок (t_y, K_y) між межами G_{ys} і G_{yp} є областю $Q_{K,ty}$ неприпустимих значень параметрів ухилення (t_y, K_y), як показано на рис. 3.13. По осі абсцис нанесені значення курсів ухилення, а по осі ординат - значення часу ухилення t_y.

Область $Q_{K,ty}$ розділена курсом $K_{y\alpha}$ на дві частини, який відповідає відносному курсу, який рівний пеленгу на ціль.

Як випливає з роботи [78], момент часу t_{b*} повороту судна до програмної траєкторії при незмінному курсі виходу K_b є функцією курсу ухилення K_y. Отже, доцільно розглянути область $Q_{K,tb}$ на площині $K_y \times t_b$, межі якої G_{bs} і G_{bp} розділяють значення параметрів K_y і t_b на безпечну і неприпустиму області, як показано на рис. 3.14, причому між межами укладені допустимі значення параметрів.

Для формування області $Q_{K,tb}$ допустимих значень параметрів K_y і t_b була розроблена комп'ютерна процедура, яка проводить розрахунок меж G_{bs} і G_{bp}, після чого виводить графічне відображення області $Q_{K,tb}$ (рис. 3.14). По осі абсцис розташовуються значення курсів ухилення судна, а по осі ординат - значення часу початку виходу t_{bs*} і t_{bp*}. Оскільки межі зміни t_{bs*} і

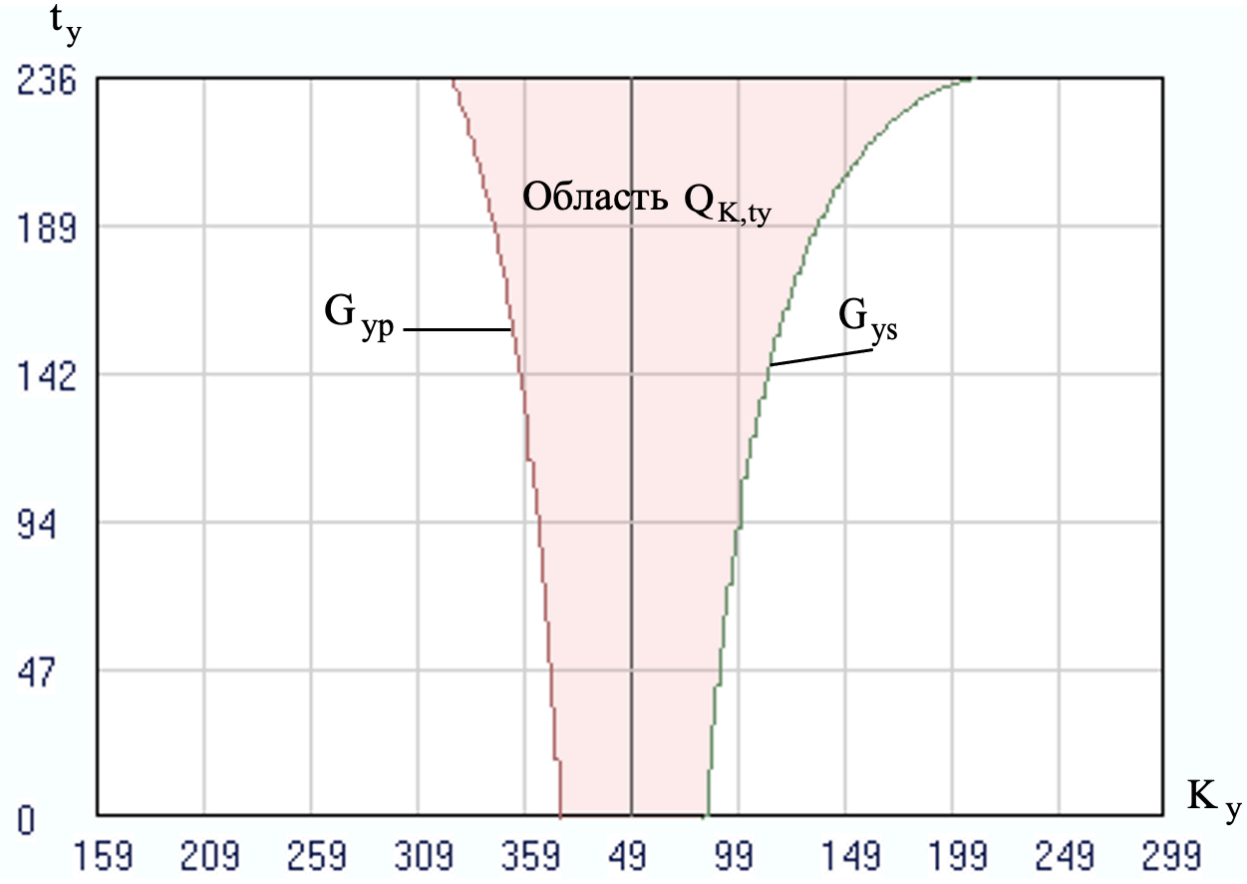

Рис. 3.13. Межі G_{ys} і G_{yp} області $Q_{K,ty}$

t_{bp*} різні, то по осі ординат є дві шкали різного масштабу: справа для t_{bs*} зеленого кольору і зліва для t_{bp*} червоного кольору.

Для вибору безпечного маневру розходження була розроблена комп'ютерна імітаційна програма, яка по заданій ситуації небезпечного зближення виводить області безпечних параметрів ухилення $Q_{K,ty}$ і виходу, по яких можливе оперативне визначення параметрів маневру розходження.

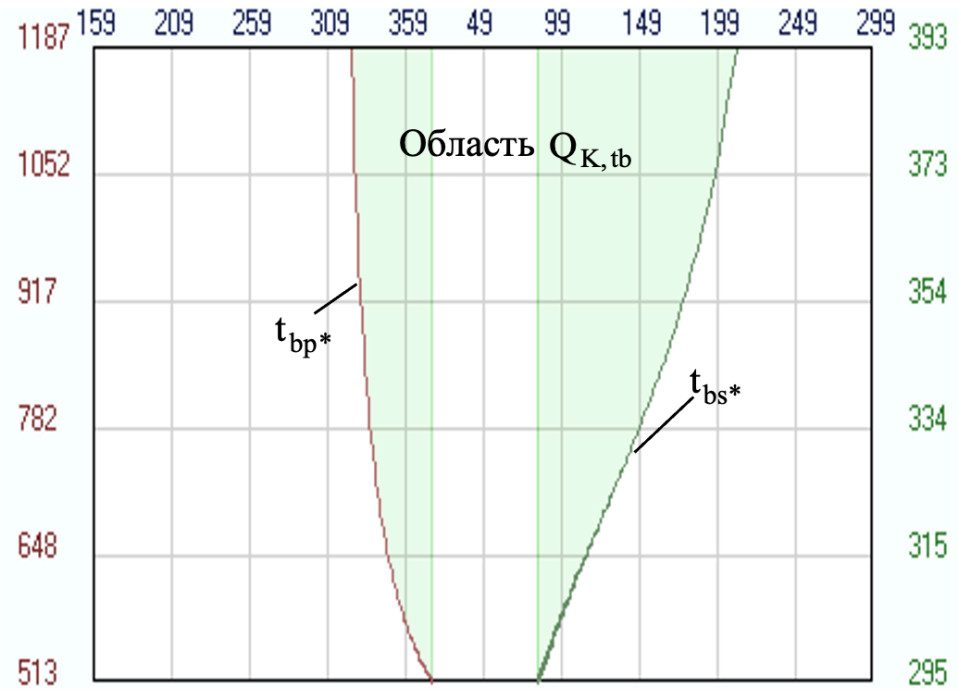

Рис. 3.14. Область безпечних параметрів виходу $Q_{K,tb}$

За допомогою клавіші «ОК» відображаються області $Q_{K,ty}$ і $Q_{K,tb}$, які мають загальну вісь абсцис курсів ухилення судна K_y (рис. 3.15). На верхній області $Q_{K,ty}$ по осі ординат нанесені значення часу початку ухилення судна t_y. На осі ординат нижньої області $Q_{K,tb}$ нанесені значення часу початку часу повороту t_b на ділянку виходу, причому з правого боку вказані значення при ухиленні судна управо, а з лівого боку - при ухиленні вліво. Після вибору сторони ухилення для прикладу управо, з'являється клавіша «ty» для вибору значення часу початку ухилення.

Значення курсу ухилення відображається вертикальною лінією на обох областях і виводиться на інформаційне табло. У прикладі, що наводиться, з $K_y = 106°$. Одночасно із зміною t_y на нижній області горизонтальною лінією відображається значення t_b і його значення виводиться на панель, в даному прикладі $t_b = 310$ с. Програмою також розраховується значення часу t_k досягнення судном програмної траєкторії руху і виводиться на панель (для прикладу $t_k = 640$ с).

При використанні клавіші «Show» на електронній карті ілюструються істинна і відносна (світліша) траєкторії розходження, як показано на рис. 3.16. При цьому програмою проводиться розрахунок початку і кінця моментів часу з урахуванням динамічної моделі обертального руху судна, а набуті значення приводяться на інформаційних панелях.

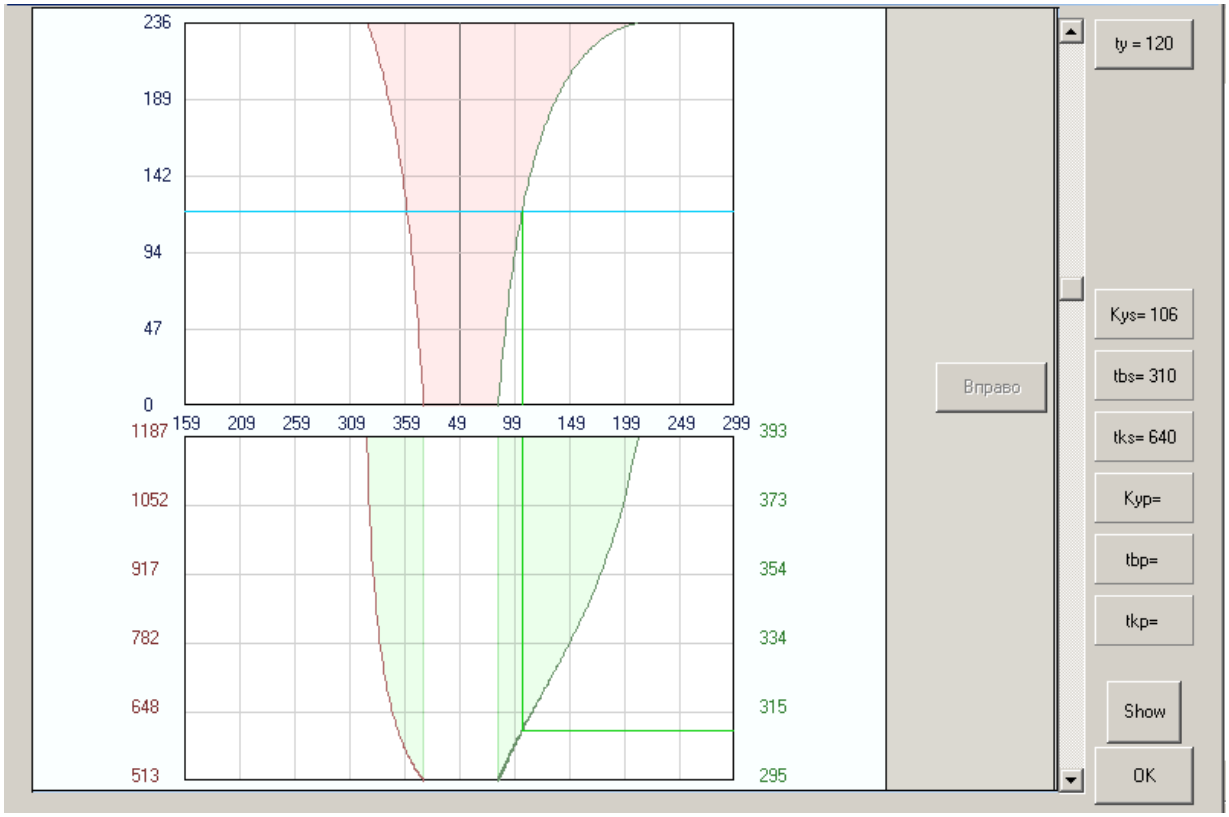

Рис. 3.15. Вибір параметрів маневру розходження

У роботах [85,86] запропонований спосіб розходження судна з двома небезпечними цілями послідовними ухиленнями використовуючи область неприпустимих значень курсів ухилення. Ідея способу полягає в наступному.

Судно рухається з параметрами K_c, V_c і небезпечно зближується з двома цілями, параметри руху яких K_1, V_1 першої цілі і K_2, V_2 - другий. Відносні позиції першої цілі визначається пеленгом α_1 і дистанцією D_1, а другої цілі - α_2, D_2. Небезпечне зближення з першою цілю проходить раніше, а

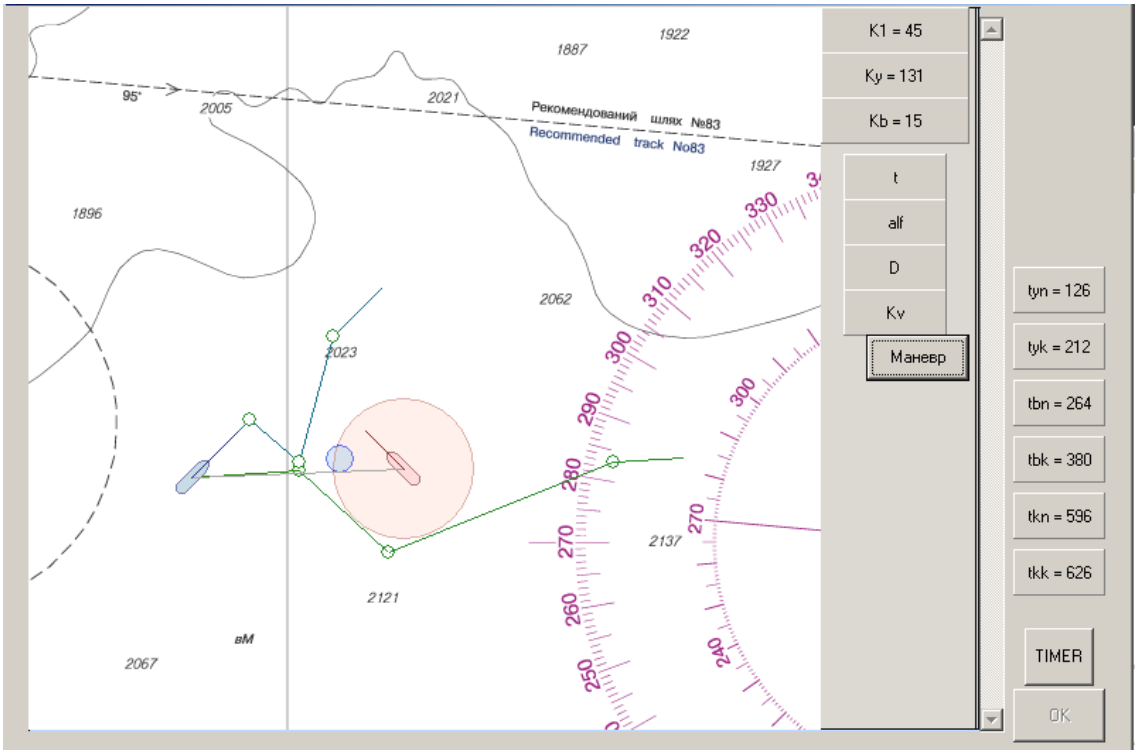

Рис. 3.16. Відображення маневру розходження

початкова позиція зближення характеризується рис. 3.17.

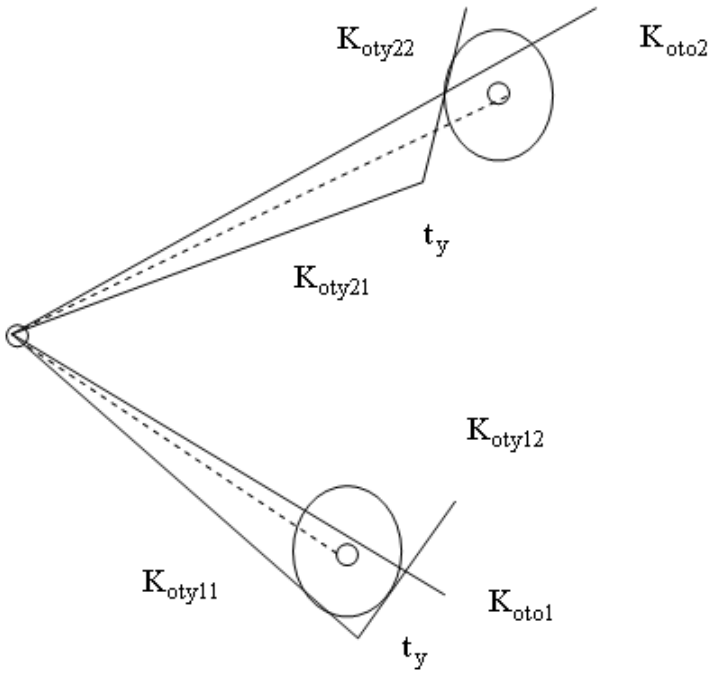

Рис. 3.17. Початкова ситуація небезпечного зближення

Розглянемо випадок, коли швидкість судна більше швидкостей обох цілей, тобто $V_c > V_1$ і $V_c > V_2$.

При розходженні судно спочатку ухиляється від першої цілі курсом K_{y1}, яким слідує до моменту часу t_y, після чого для безпечної розходження з другою ціллю лягає на курс K_{y2}. Курси ухилення K_{y1} і K_{y2} вибираються в різні боки щодо початкового курсу судна K_c для обмеження зсуву щодо програмної траєкторії руху судна.

Вибір істинного курсу ухилення судна K_{y1} проводиться так, щоб відповідний відносний курс K_{oty11} ухилення з першою ціллю забезпечував рівність її дистанції D_{min11} найкоротшого зближення з судном і гранично - допустимою дистанцією D_d, тобто $D_{min11} = D_d$, причому у момент часу найкоротшого зближення судна з першою ціллю t_y дистанція між судном і другою ціллю повинна перевершувати значення D_d, тобто $D_2(t_y) > D_d$.

При виборі другого курсу ухилення K_{y2} необхідною умовою є перевага величини дистанцій найкоротшого зближення судна з кожною з цілей над гранично - допустимою дистанцією D_d. У статті указується, що розрахунок моменту часу повороту t_{yo} за допомогою виразу:

$$t_{yo} = \frac{D_d + D_1 \sin(\alpha_1 - K_{oty12})}{V_{oty11} \sin(K_{oty11} - K_{oty12})},$$

де V_{oty11} - відносна швидкість зближення з першою ціллю на першій ділянці ухилення;

K_{oty12} - відносний курс з першою ціллю на другій ділянці ухилення.

Для розглянутого маневру двома послідовними ухиленнями формується область допустимих маневрів послідовних ухилень курсом. Як приклад приведений вибір маневру розходження послідовними ухиленнями від двох

цілей і його імітаційним моделюванням для заданої ситуації небезпечного зближення з параметрами: курсом $K_c = 5°$ і швидкістю $V_c = 23$ вузла судна, курсом $K_1 = 221°$ і швидкістю $V_1 = 21$ вузол першої цілі, курсом $K_2 = 143°$ і швидкістю $V_2 = 20$ вузлів другої цілі, дистанція $D_1 = 3$ милі і пеленг $\alpha_1 = 35°$ першої цілі, дистанція $D_2 = 5$ милі і пеленг $\alpha_2 = 338°$ другої цілі.

Комп'ютерною програмою була сформована область допустимих маневрів послідовних ухилень курсом, яка показана на рис. 3.18, і з неї вибирається оптимальний маневр розходження, відповідний мінімальній точці межі області, а його параметрами є перший курс ухилення $K_{y1} = 66°$, другий курс ухилення $K_{y2} = 341°$ і час зміни курсів $t_y = 274$ с.

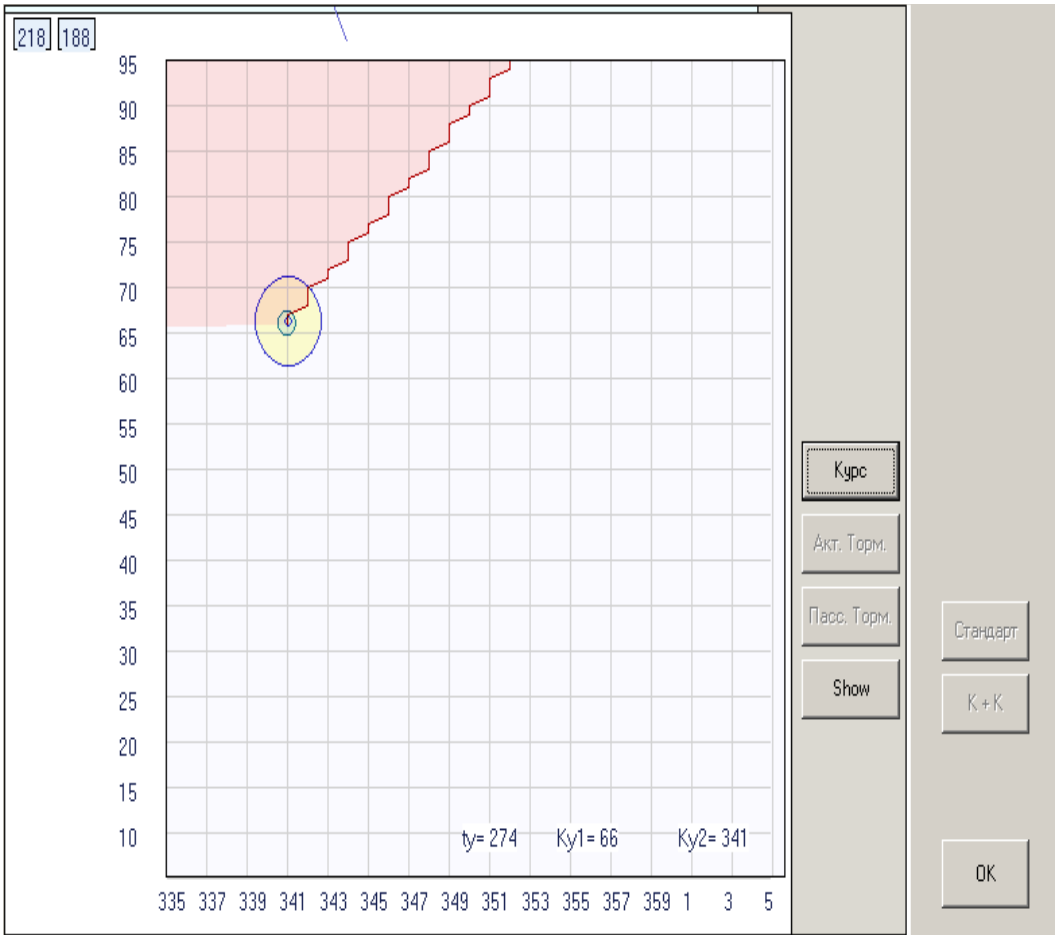

Рис. 3.18. Вибір оптимального маневру розходження

Формуванню області допустимих комбінованих маневрів розходження судна з двома цілями зміною курсу і його активним гальмуванням присвячена робота [128].

Зближення судна з обома цілями характеризується відносними курсами і, лінії яких, як випливає з рис. 3.19, проходять всередині гранично - допустимих кругів радіусом D_d, що свідчить про небезпеку зближення.

У таких ситуаціях доцільно проведення комбінованого маневру розходження судна з ціллю послідовне зміною курсу для ухилення від першої цілі і гальмуванням для того, щоб пропустити другу ціль.

У разі застосування активного гальмування для формування області $\nabla_{K1,V2}$ і вибору з її допомогою маневру розходження розрахунок часу перехідного процесу $\tau(V_{cy})$ і пройдена за цей час відстань $S(V_{cy})$ використовуються вирази для активного гальмування судна [129]:

$$\tau(V_{cy}) = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}}[\text{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_c) - \text{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{cy})],$$

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

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

P - упор гвинта;

μ - коефіцієнт опору.

Для пропонованого способу розрахунку меж області $\nabla_{K1,V2}$ визначення маневру розходження судна з двома небезпечними цілями послідовними змінами курсу і зниження швидкості активним гальмуванням була розроблена комп'ютерна імітаційна програма. Як приклад була розглянута

ситуація небезпечного зближення, показана на рис. 3.19, для якої була сформована область допустимих маневрів, показана на рис. 3.20.

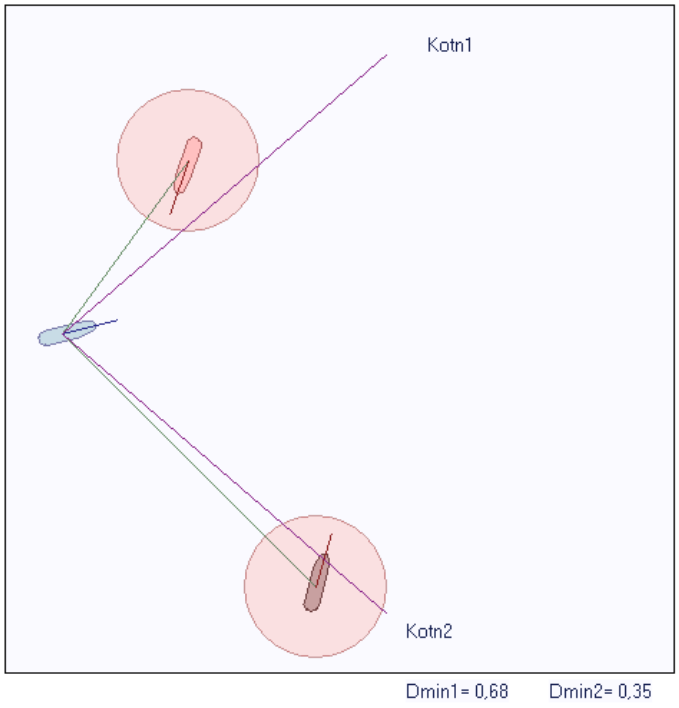

Рис. 3.19. Приклад ситуації небезпечного зближення

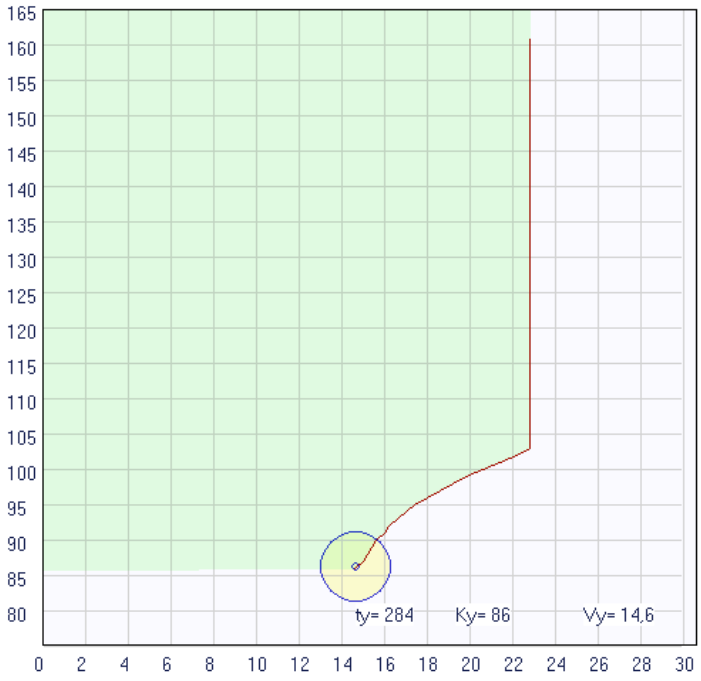

Рис. 3.20. Вибір початкової крапки, належній межі області $\nabla_{K1,V2}$

На рис. 3.20 показаний вибір початкової крапки ($K_y^{(s,p)}, V_{cy}$) на межі області, для якої визначені параметри маневру розходження $K_y = 86°$, $V_{cy} = 15$ вуз, $t_y = 284$ с, а відносні безпечні траєкторії розходження показані на рис. 3.21.

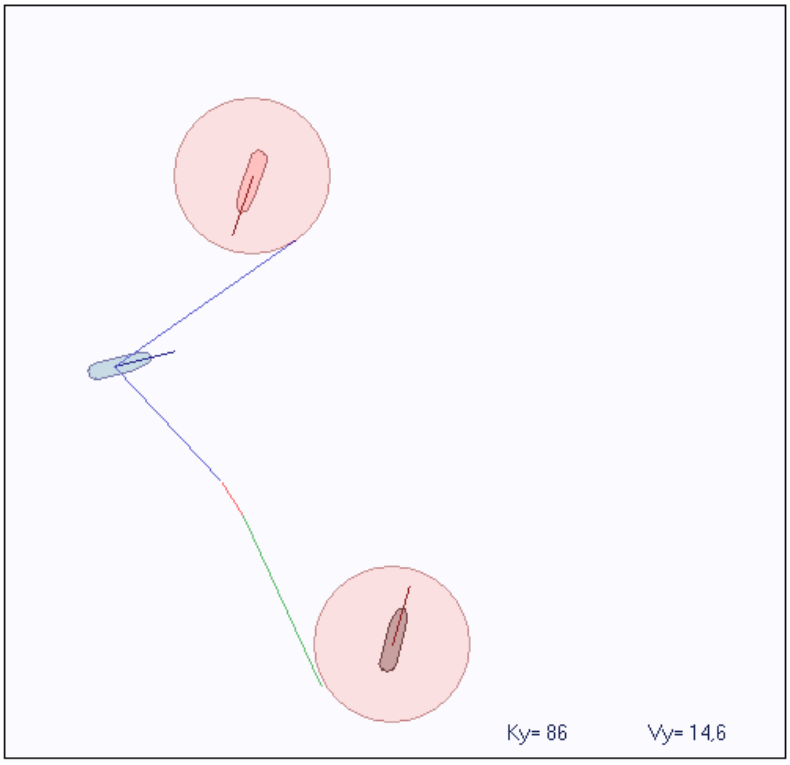

Рис. 3.21. Відносні траєкторії розходження для граничної крапки

3.3. Висновки за третім розділом.

У третьому розділі приведені необхідні матеріали і методи, які потрібні для вирішення головної задачі дисертаційного дослідження.

Враховуючи, що в роботі ставиться задача визначення вірогідності безпечного розходження суден, що небезпечно зближуються, в розділі розглянуто апріорну оцінку вірогідності безпечної проводки судна

обмеженим маршрутом, представлена характеристика аварійності суден потоками аварійних подій.

Приведена математична модель визначення вірогідності безаварійного плавання судна по вибраному маршруту з відомими характеристиками і заданою двовимірною щільністю розподілу позиційної похибки. Також розглянутий альтернативний спосіб визначення апріорної вірогідності в рамках одновимірного простору з використанням одновимірної щільності розподілу похибки бічного відхилення судна щодо програмної траєкторії руху.

Показано, що безпека судноводіння в обмежених умовах залежить від векторіальної похибки управління судном, причому вказана залежність визначає інтенсивність аварійних подій внаслідок посадок судна на мілину через векторіальну похибку управління.

Розглянуте застосування областей неприпустимих значень параметрів руху при зовнішньому управлінні процесом розходження суден у разі застосування домену круглої форми, причому приведені способи формування області небезпечних значень курсів суден, що зближуються, області неприпустимих значень швидкостей пари суден і області неприпустимих значень курсів одного судна і швидкостей іншого судна.

Також приведені процедура розрахунку меж області неприпустимих значень курсів суден у разі застосування суднового безпечного домену еліптичної форми і спосіб формування області неприпустимих значень курсів суден у разі застосування суднового безпечного домену прямокутної форми.

У разі локально-незалежного управління процесом розходження суден розглянуте використання областей неприпустимих значень параметрів руху базового судна. Приведені способи розрахунку межі області неприпустимих значень параметрів руху базового судна і межі неприпустимої області швидкостей і курсів при маневрі розходження зниженням швидкості активним або пасивним гальмуванням.

Розглянуто методи формування областей неприпустимих значень параметрів розходження базового судна, до яких відносяться область неприпустимих значень параметрів ухилення судна і область допустимих значень курсів ухилення і моментів часу повороту на курс виходу.

На завершення розділу приведені маневри розходження судна з двома небезпечними цілями, для чого розроблені спосіб розходження судна з двома небезпечними цілями послідовними ухиленнями використовуючи область неприпустимих значень курсів ухилення і область допустимих комбінованих маневрів розходження судна з двома цілями зміною курсу і його активним гальмуванням.

РОЗДІЛ 4.
РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ СУДЕН

4.1. Основні етапи процесу ухвалення рішення по попередженню зіткнень суден.

Під навігаційною ситуацією в даному дисертаційному дослідженні мається на увазі сукупність характеристик положення судна щодо рухомих об'єктів, навігаційних небезпек і заданої програмної траєкторії руху в деякому обмеженому, пов'язаному з судном районі плавання. Причому навігаційна ситуація безперервно змінюється, як під впливом зовнішніх збурень і рухомих об'єктів, так і з боку самого базового судна. Для контролю навігаційної ситуації і ухвалення рішень потрібне її регулярне відображення, оцінка і, у разі потреби, формування управляючих дій [130, 131].

Для відображення навігаційної ситуації використовується система навігаційної інформації, що вимірює сукупність навігаційних параметрів [21], по яким потім розраховуються характеристики навігаційної ситуації. Відображена ситуація зіставляється з підмножинами допустимих і неприпустимих ситуацій, тобто проводиться її оцінка, і ухвалюється рішення про необхідність корекції прогнозованої навігаційної ситуації. У разі потреби корекції розраховуються величини управляючих дій, після реалізації яких через деякий інтервал часу періодично вимірюється сукупність параметрів, що характеризують навігаційну ситуацію, і описаний цикл повторюється.

У реальних умовах плавання в районах інтенсивного судноплавства вимагається здійснювати постійне спостереження за навколишніми суднами з метою завчасного виявлення ситуації небезпечного зближення. Тому необхідно формалізувати процес ухвалення рішення по попередженню зіткнень суден, який містить наступні етапи:

1. Контроль навколишнього оточення, в першу чергу відносної позиції і параметрів відносного руху.

2. Провести аналіз наявності ситуації зближення суден.

3. Оцінка рівня небезпеки зближення суден.

4. Якщо зближення суден небезпечне, то визначити тип взаємодії для безпечної розходження.

5. Вибір стратегії розходження.

На рис. 4.1. приведений алгоритму, що реалізовує запропонований цикл впорядкованих операцій по управлінню процесом ухвалення рішення по попередженню зіткнень суден.

Реалізація процесу ухвалення рішення по вибору стратегії розходження суден для попередження їх зіткнення можлива тільки за допомогою ієрархічної системи ухвалення рішень (вирішальною системою).

З роботи [132] відомо, що система ухвалення рішень містить три аспекти опису: організаційний, аспект функціонування системи і аспект рішення задачі, що стоїть перед системою. Слід зазначити, що в роботі [63] розглянута суднова система ухвалення рішень по реалізації процесу судноводіння і одержані всі три типи її формального опису, хоча в достатньо загальних рисах.

Організаційний аспект, як і аспект функціонування, системи ухвалення рішень по вибору стратегії розходження суден в ситуації їх небезпечного зближення, для вирішення поставленої в роботі задачі не є істотними, в той час, як аспект рішення задачі, що стоїть перед системою, актуальний, тому розглянемо його детальніше.

Як раніше наголошувалося, процес ухвалення рішення по вибору стратегії розходження суден є циклічним, причому система ухвалення рішень, що забезпечує його, є ієрархічною системою, оскільки з її допомогою проводиться рішення задачі, яке містить три рівні складності, причому

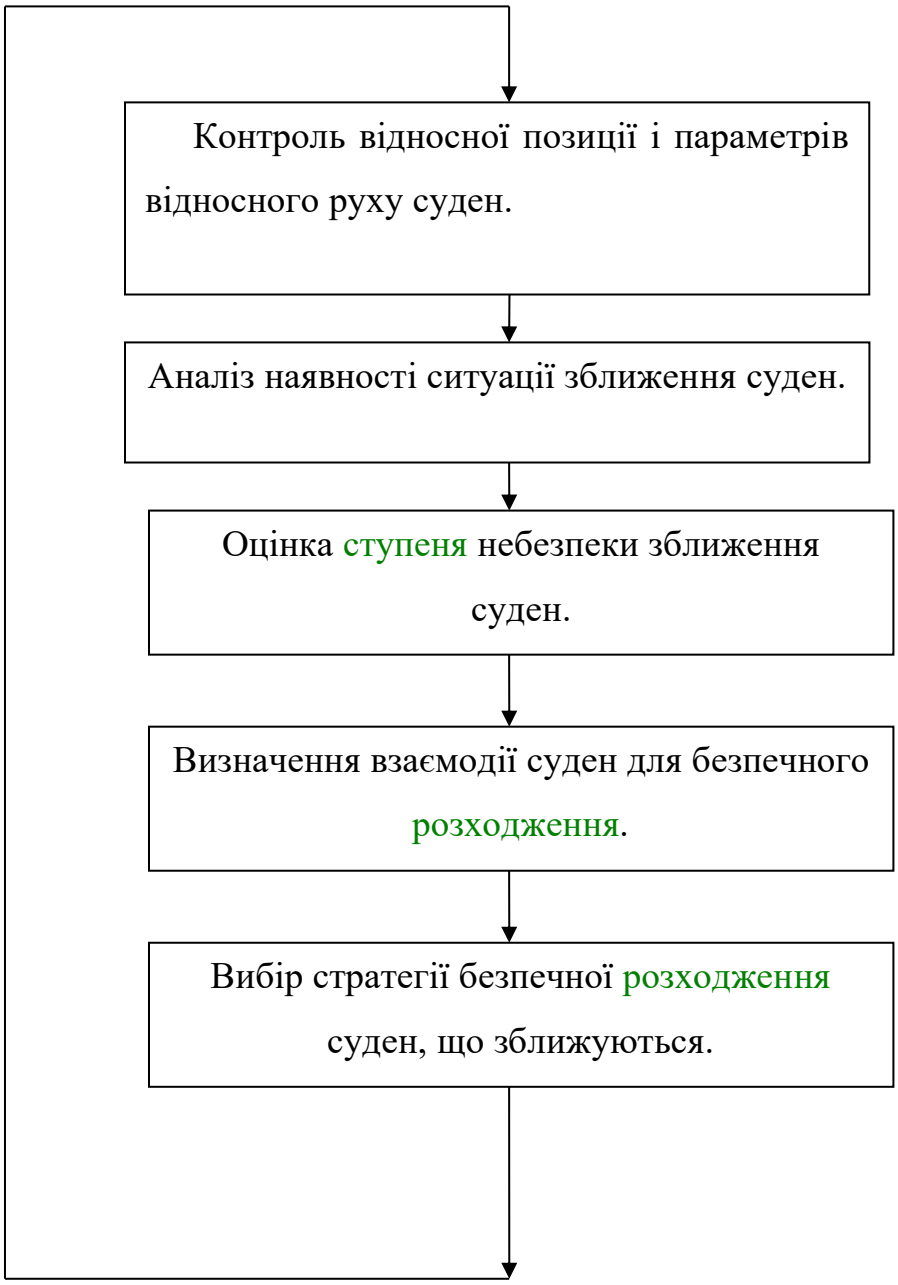

Рис. 4.1. Алгоритм управління процесом розходження

рішення кожного вищестоящого рівня дає параметри для рішення задачі нижчого рівня, як показано на рис. 4.2.

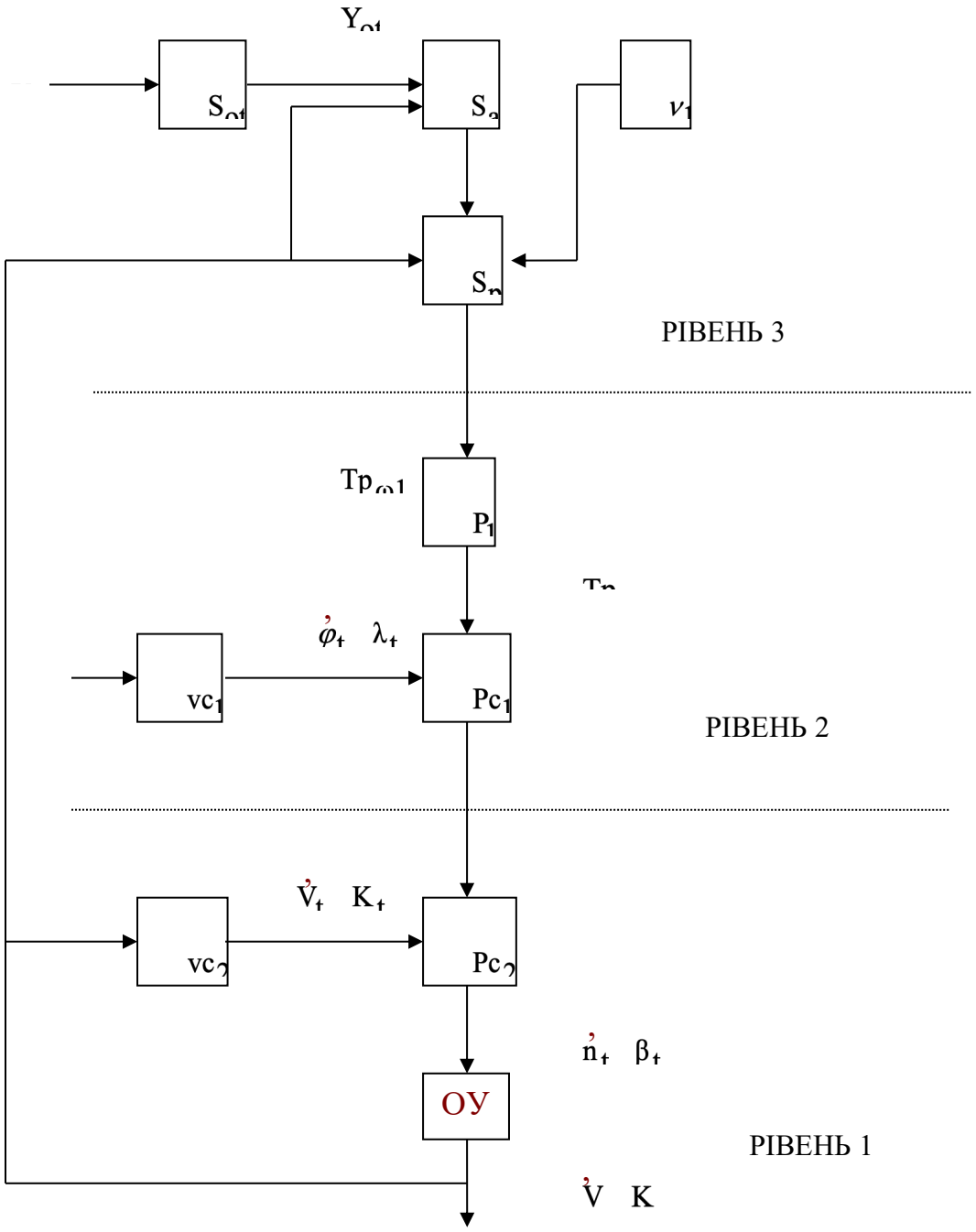

Рис. 4.2. Багаторівнева модель системи

На рівні найбільшої складності, - третьому, проводиться формування траєкторії розходження судна, за допомогою якої проводиться заміна частини програмної траєкторії руху судна у разі його небезпечного

зближення з ціллю для запобігання можливим зіткненням. Для цього використовується раніше розглянутий алгоритм.

Одержане рішення задачі формування траєкторії розходження судна є початковим для другого рівня системи рішення. На цьому рівні проводиться компенсація навігаційних збурень, тобто розв'язується задача проводки судна по сформованій траєкторії розходження. Для цього здійснюється контроль за поточним місцем судна і формуються управляючі дії (його курс і швидкість) для проводки судна по сформованій траєкторії.

При цьому системою навігаційної інформації вимірюються необхідні навігаційні параметри і за наслідками вимірювань розраховуються значення управляючих дій, тобто в загальному випадку курсу судна або в деяких випадках його швидкості.

Якраз на цьому рівні реалізується циклічний процес контролю положення судна щодо одержаної траєкторії розходження, а точніше – пов'язаного з нею прогнозованого положення, і ухвалюється рішення про необхідність коректури поточного курсу судна. У разі, коли коректура необхідна, проводиться розрахунок нового значення курсу (швидкості) судна. Процедура повторюється через вибраний період часу Δt.

На першому рівні рішення задачі проводиться стабілізація значень управляючих дій, одержаних на попередньому рівні, тобто розв'язується задача стабілізації курсу і швидкості судна. Рішенням цієї задачі є значення оборотів гвинта і кута кладки керма.

Звертаючись до рис 4.2, відзначимо, що третій рівень містить системи S_{ot}, S_a і S_p, які вирішують задачу компенсації ситуацій небезпечного зближення з іншими суднами. Система S_{ot} є інформаційною системою, що відображає відносне положення навколишніх суден, а S_a - система, що аналізує наявність небезпеки зіткнення з іншими суднами.

Чергова система S_p є системою, що вирішує задачу розходження, ν_1 – система декларативних знань про константи середовища на маршруті переходу. Таким чином, системи, S_a і S_p вирішують задачу вибору ділянки траєкторії $Tp_{\omega 1}$ для розходження з небезпечною ціллю у разі зближення.

Другий рівень системи ухвалення рішень містить системи P_1, Pc_1 і vc_1, які вирішують задачу проводки судна по вибраній траєкторії розходження.

Призначення перерахованих систем наступне:

- P_1 система, що здійснює прогноз траєкторії руху судна на деяку ділянку Tp_n залежно від інтервалу прогнозу;

- Pc_1 система, що реалізовує стабілізацію судна на ділянці прогнозованої траєкторії, для цього вона проводить розрахунок поправок ΔK і ΔV з метою компенсації зносу судна;

- vc_1 інформаційна система, що реалізовує зворотні зв'язки і визначає поточні координати судна φ_t і λ_t.

Системи Pc_2 і vc_2 складають перший рівень, - вони вирішують задачу стабілізації параметрів руху судна. Причому система vc_2 є інформаційною системою і вона визначає поточні параметри руху судна, а система Pc_2 є системою стабілізації судна по курсу і швидкості і вона формує управляючі дії: оберти двигуна і кути кладки керма, змінюючи їх в результаті порівняння поточних значень курсу і швидкості з програмними.

Слід зазначити, що всі три рівні системи ухвалення рішення функціонують в циклічному режимі, тільки періодичності циклів на кожному рівні різні.

4.2. Оцінка ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден.

У роботах [64,65] запропоновані до використання різні аналітичні системи попередження зіткнень суден при локально-незалежному і зовнішньому управлінні їх процесом розходження, для порівняльного аналізу яких слід розглянути складові процесу ухвалення рішення з потреби розходження суден при їх зближенні і, у разі її наявності, вибору стратегії розходження.

Як було показано вище, процес ухвалення рішення містить наступні етапи:

- контроль навколишнього оточення, включаючи відносну позицію і параметри відносного руху;

- виявлення ситуації зближення суден;

- при зближенні суден слід провести оцінку ступеня його небезпеки;

- у разі небезпечного зближення визначити тип взаємодії;

- залежно від ступеня небезпеки ситуації зближення вибір стратегії розходження.

На першому етапі процесу ухвалення рішення за допомогою ЗАРП або АІС виявляються навколишні рухомі об'єкти, для яких вимірюються параметрів руху і відносного положення. На цьому етапі визначаються відносний курс K_{ot} і швидкість V_{ot} за допомогою виразів:

$$K_{ot} = \arcsin[(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2)/V_{ot}],$$

$$V_{ot} = [V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(K_1 - K_2)]^{1/2},$$

де K_1, V_1, K_2 і V_2 - параметри руху суден.

На другому етапі процесу ухвалення рішення, використовуючи зміряні параметри, необхідно розрахувати значення швидкості зміни дистанції між

суднами, враховуючи, що при її негативному значенні судна зближуються. Значення швидкості зміни дистанції між суднами розраховується за допомогою виразу:

$$\dot{D} = -V_{ot}\cos(\alpha - K_{ot}),$$

де α - пеленг з одного судна на інше судно.

На третьому етапі процесу ухвалення рішення при зближенні суден проводиться оцінка ступеня його небезпеки, для чого прогнозується розвиток ситуації зближення до моменту часу їх найкоротшого зближення, яке характеризується дистанцією D_{min}:

$$D_{min} = \left|D\sin(\alpha - K_{ot})\right|,$$

де D - дистанція між суднами.

Рівень небезпеки зближенні суден характеризується ситуативним збуренням, яке виникає при прогнозованому попаданні суден в домен неприпустимих позицій. Воно виникає тоді, коли прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення D_{min} менше значення гранично - допустимої дистанції зближення, величина якої залежить від форми домену неприпустимих позицій і ракурсу зближення суден. При небезпечному зближенні ситуативне збурення ω може приймати значення 1 або 2.

Після того, як виявлена наявність небезпеки зіткнення, на четвертому етапі ухвалення рішення слід визначити тип взаємодії суден, що зближуються, враховуючи принцип управлінні їх процесом розходження. Особливо істотно це для принципу локально-незалежного управління процесом розходження, коли необхідна координація взаємодії суден при небезпечному зближенні.

На п'ятому етапі ухвалення рішення слід вибрати стратегію розходження, причому при локально-незалежному управлінні процесом

розходження вибір стратегії розходження проводиться залежно від ступеня небезпеки ситуації зближення, тобто значення ситуативного збурення, виходячи з координації маневрів суден, що зближуються, передбаченої МППЗС-72. В цьому випадку характер маневру розходження також визначається значенням ситуативного збурення. У випадку $\omega = 1$ передбачене застосування стандартного маневру розходження, а при значенні $\omega = 2$, що характерне для надмірного зближення суден, щоб уникнути зіткнення слід використовувати маневр екстреного розходження.

Принципово важливим є число суден, що небезпечно зближуються. У разі, коли небезпечно зближуються більше двох суден, стратегія розходження формується з урахуванням матриці ситуативного збурення, яка як елемент містить значення ситуативного збурення відповідної пари суден.

Як показник ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден доцільно запропонувати вірогідність безпечного завершення процесу розходження, яка є добутком вірогідностей P_i успішного результату етапів процесу ухвалення рішення по вибору стратегії розходження:

$$P_{sf} = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5.$$

Надалі для оцінки вірогідність безпечного завершення процесу розходження P_{sf} необхідно знайти аналітичні вирази для вірогідності позитивного результату кожного з етапів процесу ухвалення рішення по вибору стратегії розходження P_i.

4.3. Оцінка вірогідності рівня небезпеки зближення суден.

Відзначимо, що перші три етапи ухвалення рішення по вибору стратегії розходження можна характеризувати загальною вірогідністю відсутності небезпеки зіткнення за умови, що дистанція найкоротшого зближення рівна

заданій гранично - допустимій дистанції зближення. Для цього розглянемо похибку дистанції найкоротшого зближення ΔD_{min} і вираз для щільності її розподілу.

З цією метою слід розглянути залежність похибки дистанції найкоротшого зближення ΔD_{min} від похибок вимірювання дистанції ΔD і пеленга $\Delta\alpha$. Для цього скористаємося виразом для D_{min}:

$$D_{min} = \left|D\sin(\alpha - K_{ot})\right|, \qquad (4.1)$$

і з урахуванням відповідних похибок ΔD_{min}, ΔD і $\Delta\alpha$ одержимо:

$$D_{min} + \Delta D_{min} = \left|(D + \Delta D)\sin[(\alpha - K_{ot}) + \Delta\alpha]\right| = (D + \Delta D)[\sin(\alpha - K_{ot})\cos\Delta\alpha + \cos(\alpha - K_{ot})\sin\Delta\alpha].$$

Оскільки похибки вимірювання мають малі значення, то можна прийняти $\cos\Delta\alpha = 1$ і $\sin\Delta\alpha = \Delta\alpha$. Отже:

$$D_{min} + \Delta D_{min} = (D + \Delta D)[\sin(\alpha - K_{ot}) + \cos(\alpha - K_{ot})\Delta\alpha] = D\left|\sin(\alpha - K_{ot})\right| + D\cos(\alpha - K_{ot})\Delta\alpha + \Delta D\left|\sin(\alpha - K_{ot})\right| + \Delta D\cos(\alpha - K_{ot})\Delta\alpha.$$

Звертаємо увагу, що в останньому виразі:

$D\left|\sin(\alpha - K_{ot})\right| = D_{min}$, $\Delta D\cos(\alpha - K_{ot})\Delta\alpha \approx 0$, враховуючи, що ΔD і $\Delta\alpha$ є величинами з малими значеннями. Тому:

$$D_{min} + \Delta D_{min} = D_{min} + D\cos(\alpha - K_{ot})\Delta\alpha + \Delta D\left|\sin(\alpha - K_{ot})\right|,$$

або остаточно:

$$\Delta D_{min} = D\cos(\alpha - K_{ot})\Delta\alpha + \Delta D\left|\sin(\alpha - K_{ot})\right|. \qquad (4.2)$$

Такий же результат одержимо альтернативним шляхом. Знайдемо повний диференціал виразу (4.1):

$$d(D_{min}) = \left|d(D)\sin(\alpha - K_{ot})\right| + D\cos(\alpha - K_{ot})\, d\alpha.$$

Переходячи від диференціалів до кінцевих приростів, одержимо вираз (4.2).

З урахуванням залежності (4.2) і припускаючи, що похибки ΔD і $\Delta\alpha$ розподілені по нормальному закону з дисперсіями σ_D^2 і σ_α^2 можна записати вираз для дисперсії похибки, яку позначимо σ_{min}^2. Тому:

$$\sigma_{min}^2 = \sigma_D^2\sin^2(\alpha - K_{ot}) + \sigma_\alpha^2 D^2\cos^2(\alpha - K_{ot}).$$

В цьому випадку закон розподілу похибки ΔD_{min} також є нормальним і щільність $f_b(\Delta D_{min})$ виражається таким чином:

$$f_b(\Delta D_{min}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{min}}\exp[-\frac{(\Delta D_{min})^2}{2\sigma_{min}^2}],$$

або

$$f_b(\Delta D_{min}) = A_n \exp\{-\frac{[\Delta D_{min}]^2}{2[\sigma_D^2\sin^2(\alpha - K_{ot}) + \sigma_\alpha^2 D^2\cos^2(\alpha - K_{ot}))}\}, \qquad (4.3)$$

де $A_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_D^2\sin^2(\alpha - K_{ot}) + \sigma_\alpha^2 D^2\cos^2(\alpha - K_{ot}))}}$.

Маючи в своєму розпорядженні вираз для щільності розподілу, можливо визначити вірогідність P_b того, що у разі рівності $D_{min} = D_d$ при зближенні суден не виникне зіткнення. Для цього звернемося до рис. 4.3, на якому позначено через D_{dt} радіус детермінованої області, що враховує габарити судна і явище присмоктування. Очевидно, шукана вірогідність рівна вірогідності того, що похибка ΔD_{min} не перевершить величину $D_{min} - D_{dt}$, тобто $P_b = P\{\Delta D_{min} < D_{min} - D_{dt}\}$. З урахуванням одержаного виразу для щільності розподілу $f_b(\Delta D_{min})$ одержимо:

$$P_b = P\{\Delta D_{min} < D_{min} - D_{dt}\} = \int_0^{D_{min}-D_{dt}} f_b(\Delta D_{min})d\Delta D_{min}, \text{ або } P_b = \int_0^{D_{min}-D_{dt}} f_b(\Delta D_{min})d\Delta D_{min}.$$

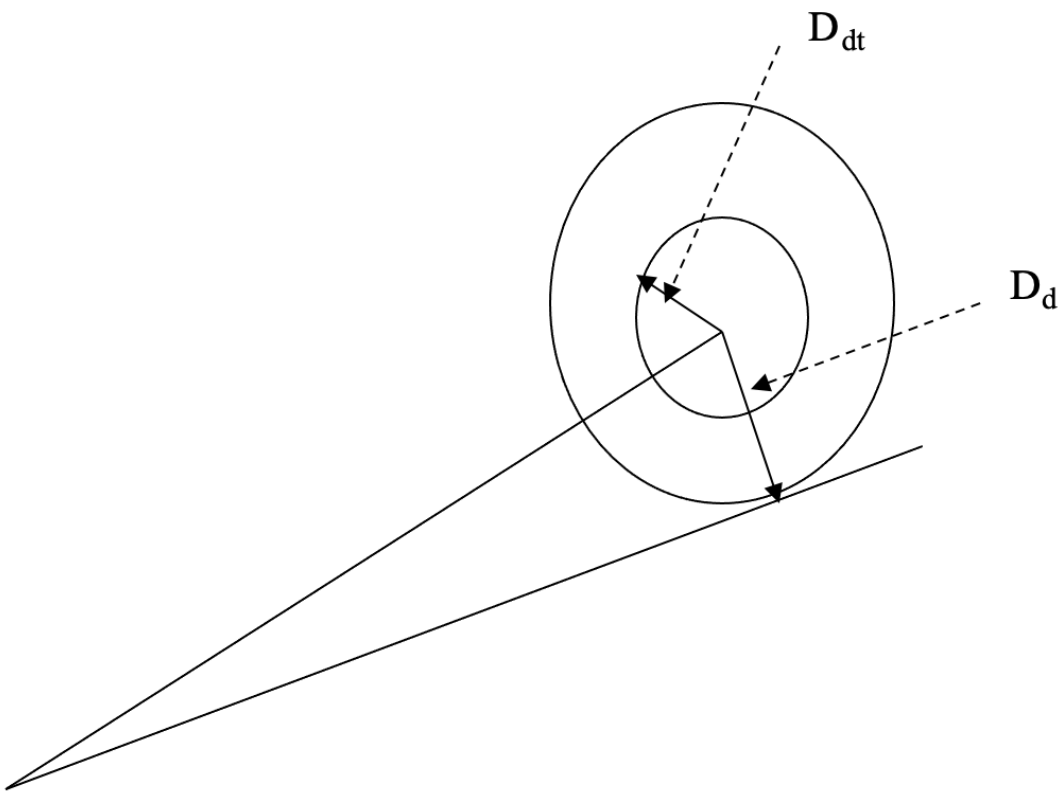

Рис. 4.3. Визначення вірогідності безаварійного зближення.

У разі домену з формою, відмінною від круга, необхідно розглядати питання визначення D_{dt}. Одержана вірогідність P_b визначає сприятливий результат першого етапу.

4.4. Вірогідність коректного визначення типу взаємодії суден і вибору оптимальної стратегії розходження.

Черговим етапом після виявлення небезпеки зближення є визначення типу взаємодії для формування стратегії розходження, яка містить маневри суден, що зближуються. У разі зовнішнього управління процесом розходження така проблема не виникає, оскільки стратегія розходження визначається зовнішнім управлінцем. При локально-незалежному управлінні процесом розходження тип взаємодії суден і їх стратегія розходження визначається системою координації їх взаємодії.

В даний час координується взаємодія тільки пари суден за допомогою системи бінарної координації, реалізованої в МППЗС-72. У разі небезпечного зближення, перш за все, слід визначити значення ситуативного збурення, виходячи з трьох областей взаємних обов'язків, передбачених МППЗС-72. Для цього враховуємо, що межа між першою і другою областями визначається рівністю:

$$D_{min} = D_{dt} + D_f,$$

де D_f - запас дистанції на форс-мажорні обставини.

У свою чергу межа між другою і третьою областями знаходиться з рівності:

$$D_{min} = D_{dt}.$$

У разі визначення областей враховуємо, що $D_d = D_{dt} + D_f + D_{st}$, причому D_{st} - стохастична складова гранично - допустимої дистанції

зближення. Тому вірогідність реалізації другої області P_{b2} у випадку $D_{min} = D_{dt} + D_f$:

$$P_{b2} = \int_0^{D_f} f_b(\Delta D_{min}) d\Delta D_{min} .$$

У свою чергу, вірогідність реалізації третьої області P_{b3} у випадку $D_{min} = D_{dt}$:

$$P_{b3} = \int_0^{D_{dt}} f_b(\Delta D_{min}) d\Delta D_{min} .$$

При визначенні типу взаємодії суден необхідно провести аналіз особливостей системи координації, яка реалізована в МППЗС-72.

У роботі [64] представлені результати аналізу МППЗС-72, який показав ряд невизначеностей, що значно знижують безпеку маневру розходження.

Невизначеність у взаємодії суден виникає ще на етапі визначення рівня небезпеки ситуації зближення. Мірою небезпечного зближення суден є співвідношення дистанції найкоротшого зближення і гранично - допустимою дистанцією найкоротшого зближення. І, хоча величину гранично-допустимої дистанції найкоротшого зближення МППЗС – 72 не регламентують, в морській практиці у відкритому морі прийнята величина цієї дистанції рівна приблизно двом милям.

Відсутність алгоритму визначення ситуації небезпечного зближення веде до того, що в реальних умовах плавання величина гранично-допустимої дистанції найкоротшого зближення визначається суб'єктивно судноводієм, причому на судах, що зближуються, можуть по-різному оцінювати ситуацію, що складається. На одному з суден можуть зближення розцінювати як небезпечне, а на другому вважати, що судна розходяться чисто.

Наслідки такої сумісної суперечливої оцінки можуть виявитися не передбачуваними і привести до аварійної ситуації.

У разі визначення області взаємних обов'язків можливі два варіанти: обидва судна визначили одну і ту ж область або різні суміжні області. Якщо

позначити через S_1 і S_2 області взаємних обов'язків, які визначені відповідно першим і другим суднами, то можливі наступні результати, як показано в табл. 4.1.

За наявності результату Z_0, коли одне з суден розцінює ситуацію зближення безпечною, а друге судно вважає наявність першої області взаємних обов'язків, можливі наступні типи взаємодій:

Таблиця 4.1.

	Можливі результати	
Результат Z_i	S_1	S_2
Z_0	0(1)	1(0)
Z_1	1	1
Z_2	2	2
Z_3	3	3
Z_4	1	2
Z_5	2	1
Z_6	2	3
Z_7	3	2

- одне з суден слідує з незмінними параметрами (S_i=0), а друге судно вважає, що воно пасивне (S_j=0);

- одне з суден слідує з незмінними параметрами (S_i=0), а друге судно вважає, що воно активне (S_j=1).

У першому випадку (результат Z_{01}) припустимо, що перше з суден оцінило зближення як небезпечне, і таким, як судно, якому поступаються дорогу. Друге ж судно вважає зближення безпечним і взагалі не має наміру маневрувати. Через деякий час перше судно, згідно Правилу 17, вживає заходам по попередженню зіткнення і починає маневрувати поблизу другого

судна, викликаючи можливу реакцію другого судна, що може погіршити ситуацію аж до зіткнення.

У другому випадку (результат) Z_{02} друге судно виконує маневр розходження і зіткнення попереджається.

Якщо кожне з суден визначило першу область взаємних обов'язків, тобто реалізувався результат Z_1, то судам необхідно визначити свої маневри, які складають стратегію розходження.

У першій області взаємних обов'язків однією з найбільш невизначених є ситуація розходження двох суден, що мають, згідно Правилу 18, однаковий підвищений пріоритет, наприклад, двох рибаків, або суден, обмежених своїм осіданням і т.п. В такій ситуації МППЗС – 72 не координують взаємодію суден, що розходяться, що посилює і без того їх скрутне положення, збільшуючи ризик небезпеки зіткнення при їх розходженні. Дану ситуацію характеризуватимемо не координованим результатом Z_{11}.

Проте і у разі розходження суден з механічним двигуном виникає ряд невизначених ситуацій. Однією з таких ситуацій є ситуація, коли судна з механічним двигуном рухаються прямо назустріч один одному. Згідно Правилу 14 два судна з механічним двигуном, які рухаються назустріч один одному (на контркурсах) повинні відвернути вправо і чисто розійтися лівими бортами. Відзначимо, що такий маневр розходження вимагає певної синхронізації в маневруванні обох суден, що Правилами ніяк не регламентовано. Тому можливе виникнення небезпеки зіткнення. Описана ситуація відповідає результату Z_{12}.

Також можлива ситуація, в якій два судна з механічним двигуном знаходяться на зустрічних паралельних курсах, проте курсові кути перевершують значення, характерні для ситуації Правила 14, причому дистанція найкоротшого зближення менше гранично - допустимої дистанції. Наприклад, якщо дистанція між суднами близько трьох миль, то при гранично-допустимій дистанції 0,5 милі курсові кути можуть досягати не

менше 10 градусів. Така ситуація зближення є небезпечною і може характеризуватися першою областю взаємних обов'язків. Проте приведена ситуація не потрапляє ні під Правило 14, ні під Правило 15 (пересічні курси). Отже, така ситуація МППЗС – 72 не регламентується чіткою і однозначною координацією, що створює невизначеність при маневруванні і з'являється загроза зіткнення суден, що розходяться. Розглянуту ситуацію віднесемо до результату Z_{13}.

Розглянемо результат, коли обидва судна ідентифікували другу області взаємних обов'язків. Об'єктивні критерії оцінки такої області в МППЗС – 72 відсутні, зате є суб'єктивні критерії для другої області взаємних обов'язків «… це інше судно, коли для нього стає очевидним, що судном зобов'язаним поступитися дорогу, не робить відповідної дії, …, може зробити дію, щоб уникнути зіткнення тільки власним маневром» [63].

Невизначені вимоги в умовах взаємодії двох суден, з урахуванням індивідуальних суб'єктивних оцінок судноводіїв кожного з суден, перш за все, анулює основний принцип координації МППЗС – 72, тобто можливість чіткого прогнозу в поведінці кожного з взаємодіючих суден, внаслідок чого дія суден будуть не узгоджені, що може повести до важких наслідків. Правило 17, що визначає другу область взаємних обов'язків і дозволяє пасивному судну маневрувати для розходження, позбавляє прогнозу кожне з суден, що розходяться, в частині поведінки партнера. Так судно, яке повинне поступатися дорогою, в другій області взаємних обов'язків позбавлене інформації про передбачувану поведінку пасивного судна, яке, згідно МППЗС – 72, має право, як продовжувати рух з незмінними параметрами, так і зробити маневр для розходження власними силами. З другого боку судно, якому повинні поступатися дорогу, маючи намір зробити маневр розходження, може чекати як маневрування з боку іншого активного судна, так і його подальшого незмінного руху. Втрата прогнозу в ситуації небезпечного зближення, що ускладнюється, і фактична відсутність

координації в другій області взаємних обов'язків різко знижує безпеку процесу розходження. Отже, результат Z_2 є не координованим результатом.

За ситуації, коли обидва судна ідентифікували третю область взаємних обов'язків, реалізується результат Z_3, який характеризується повною невизначеністю у взаємодії суден і відсутністю координації. У такій ситуації дуже великий ризик зіткнення суден.

Розглянемо результат Z_4, коли одне з суден визначає першу область взаємних обов'язків і повинне поступитися дорогою, а друге судно ідентифікувало другу область взаємних обов'язків і себе як пасивне судно. У такій ситуації Правилами не координується взаємодія суден і маневр другого судна може повести до виникнення ризику зіткнення. Отже, результат Z_4 відноситься до не координованих результатів.

У разі реалізації результату Z_5, при якому одне з суден визначає першу область взаємних обов'язків і себе як пасивне судно, а інше судно - другу область взаємних обов'язків і повинне поступитися дорогою, діючи згідно Правилам, судна проводять узгоджений маневр розходження. Тому результат Z_5 є координованим результатом.

Результати Z_6 і Z_7 мають місце, коли одне з суден ідентифікувало другу область взаємних обов'язків, а інше - третю область. Якщо судно в другій області взаємних обов'язків є активним, то реалізований результат Z_6, причому маневри обох суден не координовані. Якщо ж судно з другою областю взаємних обов'язків є пасивним, то виникає результат Z_7, при якому не виникає ризик зіткнення суден.

Слід зазначити, що МППЗС – 72 координує взаємодію тільки двох суден в умовах відкритого моря, тобто наявність другої небезпечної цілі або судна, що заважає, як і навігаційних небезпек, в Правилах не передбачена. Тому можливі ще два результати - Z_8, в ситуації небезпечного зближення суден за наявності третього судна і Z_9, у випадку, якщо в районі проведення маневру

розходження знаходяться навігаційні небезпеки. Перераховані два результати порушують координацію взаємодії суден при розходження.

Підведемо підсумки щодо розглянутих результатів, помістивши результати в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Результати аналізу результатів

№ п/п	Результат	Характеристика координованості	Показник
1	Z_{01}	частково координований	0,5
2	Z_{02}	координований	1
3	Z_{11}	відсутність координації	0
4	Z_{12}	частково координований	0,5
5	Z_{13}	частково координований	0,5
6	Z_2	відсутність координації	0
7	Z_3	відсутність координації	0
8	Z_4	відсутність координації	0
9	Z_5	координований	1
10	Z_6	відсутність координації	0
11	Z_7	координований	1
12	Z_8	частково координований	0,5
13	Z_9	частково координований	0,5

Слід зазначити, що результати, передбачені Правилами 9-15, є координованими з показниками рівними 1. Всього число результатів рівне 20. Сума показників координованості рівна 12,5, отже, середній показник

рівний 0,625. Тому МППЗС – 72, як система бінарної координації, згідно середньому показнику, найближче характеризується частковою координованістю. Виходячи з викладеного, можна допустити, що за відсутності координованості два з трьох випадків завершуються благополучно, а при повній координації всі три випадки благополучні, тому вірогідність благополучного завершення цього етапу P_k може бути оцінена, як відношення 2,625/3, тобто P_k=0,875.

Крім системи бінарної координації МППЗС – 72 в роботі [133] розглянута альтернативна система бінарної координації, в якій враховується вимога закону необхідної різноманітності Ешбі, а компенсація ситуативного збурення передбачена наступними способами:

1. Сумісним маневром обох суден c_1 і c_2.

2. Маневром судна з більшою швидкістю c_2.

Судно, якому наказується системою $c_o(Bz)$ виконання маневру розходження, є активним, а судно, що зберігає незмінними параметри руху, - пасивним.

При першому способі компенсація ситуативного збурення проводиться двома активними суднами. В цьому випадку необхідне узгодження маневрів розходження обох суден, тобто їх координація. Очевидно, що координація повинна забезпечувати збільшення дистанції найкоротшого зближення при виконанні маневрів розходження суден. Це відбувається, як показано на рис. 4.4, для суден, що зближуються на стрічних курсах, при зміні їх початкових курсів в одну сторону (наприклад, збільшення курсів обох суден). У разі зближення суден на попутних курсах для координації маневрів розходження необхідна зміна курсів суден в різні боки, наприклад, судно c_1 збільшує курс, а судно c_2 - зменшує курс.

Звертаємо увагу, що зміна дистанції найкоротшого зближення D_{min} визначається складовою сумарної швидкості суден

$V_2 \sin(K_{2y} - \alpha) - V_1 \sin(K_{1y} - \alpha)$, перпендикулярній до лінії пеленгу. Вказана швидкість збільшується, якщо складові швидкості мають різні знаки, чим і обґрунтовані висновки по координації маневрів розходження двох активних суден на стрічних і попутних курсах.

У другому і третьому способах компенсація ситуативного збурення проводиться одним судном, тобто маневр розходження проводиться одним з суден, тоді як інше судно зберігає незмінні параметри. В цьому випадку не виникає необхідність в координації.

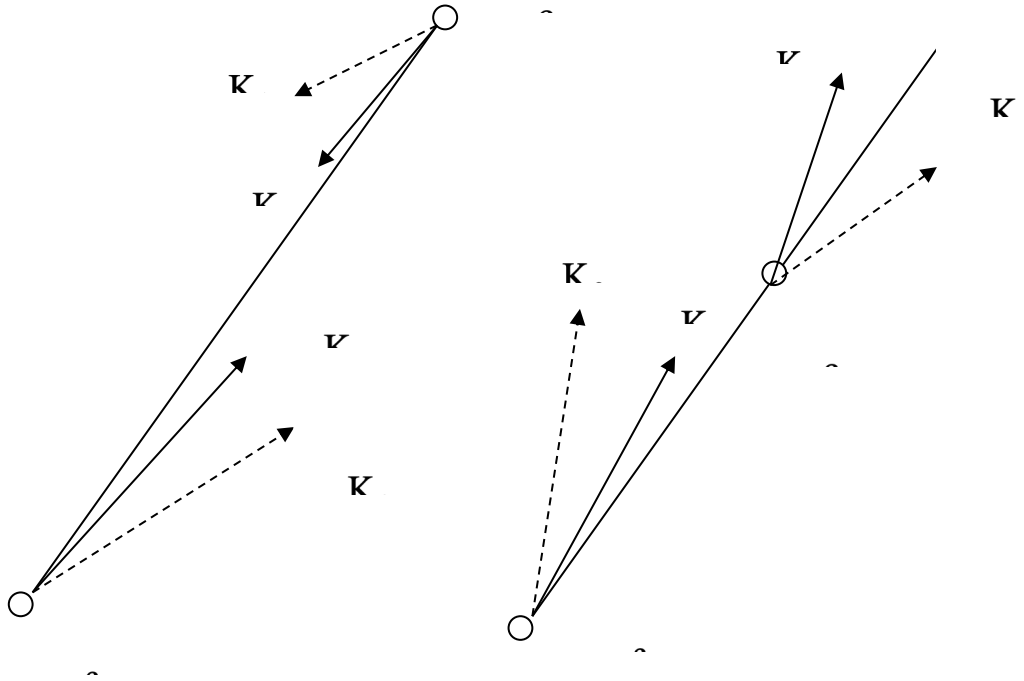

Рис. 4.4. Координація маневрів розходження суден

Система бінарної координації $c_o(Bz)$ повинна враховувати зближення суден з урахуванням їх статусу, причому судно з більшим статусом, як правило, перевершує по швидкості судно з меншим статусом. З урахуванням вищевикладеного доцільно запропонувати наступну структуру системи $c_o(Bz)$ для випадку ω=1, яка визначає стандартне розходження суден. При

цьому координатор $c_o(Bz)$ формує координуючі сигнали γ_1 і γ_2, а також сигнали зв'язку $\mu_1 = \gamma_2$ і $\mu_2 = \gamma_1$.

Основною ознакою координації є статуси суден St_1 і St_2. Статус судна характеризує його можливість виконувати маневр розходження залежно від роду його діяльності, конструкції і технічного стану. У МППЗС-72 передбачені наступні статуси суден (правило 18), розташованих у порядку зростання:

- судна з механічним двигуном;
- вітрильні судна;
- риболовецькі судна;
- судна, обмежені осіданням;
- судна, обмежені в можливості маневрувати;
- судна що не можуть управлятися.

Якщо статуси суден не рівні, то судно з вищим статусом є пасивним, а інше судно – активним. У разі однакових статусів $St_1 = St_2$ визначальним параметром є швидкість суден. В цьому випадку судно з вищою швидкістю c_2 є активним, а судно c_1 - пасивним. У разі рівності швидкостей $V_2 = V_1$ обидва судна є активними і змінюють свої курси залежно від того, на стрічних або попутних курсах вони зближуються, як розглядалося раніше.

У випадку ω=2 координатор $c_o(Bz)$ визначає компенсацію ситуативного збурення екстреним маневруванням.

Важливою характеристикою системи бінарної координації є її повнота, під якою матимемо на увазі ступінь обхвату можливих ситуацій відповідними стратегіями розходження. Аналіз структури системи бінарної координації $c_o(Bz)$ показує, що кожній з можливих ситуацій небезпечного зближення відповідає стратегія розходження. Дійсно, всі можливі ситуації небезпечного зближення пари суден можна представити наступним переліком:

- зближення суден з різним статусом $St_1 > St_2$ і $St_1 < St_2$;

- зближення суден з однаковим статусом $St_1 = St_2$ з різними швидкостями $V_1 < V_2$;

- зближення суден з однаковим статусом $St_1 = St_2$, з однаковими швидкостями $V_1 = V_2$ на зустрічних курсах;

- зближення суден з однаковим статусом $St_1 = St_2$, з однаковими швидкостями $V_1 = V_2$ на попутних курсах;

- зближення суден в ситуації екстреного маневрування при ω=2.

Кожній з вказаних ситуацій відповідає стратегія розходження, що містить координовані маневри. Таким чином, пропонована система координації $c_o(Bz)$ задовольняє вимозі повноти.

Координатор $c_o(Bz)$ також характеризується невизначеністю в оцінці ситуації небезпечного зближення і поведінки суден для компенсації ситуативного збурення. У пропонованій системі бінарної координації оцінка значення виникаючого ситуативного збурення проводиться обома суднами ідентично, враховуючи співвідношення їх статусів і швидкостей. Тому ситуація зближення і можливе ситуативне збурення, як і взаємні обов'язки, обома суднами визначаються однаково, що гарантує відсутність невизначеності в розглянутій системі бінарної координації.

Недоліком розглянутої системи бінарної координації є відсутність координації взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення трьох суден, як і в ситуації наявності навігаційних небезпек в районі розходження суден.

В результаті небезпечного зближення суден при використанні розглянутої системи бінарної координації можливі наступні результати взаємодії суден:

- Z_1 - ситуація зближення суден, що мають різні статуси $St_1 \neq St_2$;

- Z_2 - зближення суден з однаковим статусом $St_1 = St_2$, у яких різні швидкості $V_1 \neq V_2$;

- Z_3 - судна з однаковим статусом $St_1 = St_2$ і з однаковими швидкостями $V_1 = V_2$ зближуються на зустрічних курсах;

- Z_4 - зближення суден з однаковим статусом $St_1 = St_2$, з однаковими швидкостями $V_1 = V_2$ на попутних курсах;

- Z_5 - зближення суден в ситуації екстреного маневрування при ω=2;

- Z_6 - ситуація небезпечного зближення суден за наявності третього судна;

- Z_7 - ситуація у випадку, якщо в районі проведення маневру розходження знаходяться навігаційні небезпеки.

Останні два результати пов'язані з порушенням координованості взаємодії суден при розходження, тоді як решта результатів є координованими. Підсумки розглянутих результатів приведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

Результати аналізу результатів

№ п/п	Результат	Характеристика координованості	Показник
1	Z_1	координований	1
2	Z_2	координований	1
3	Z_3	координований	1
4	Z_4	координований	1
5	Z_5	координований	1
6	Z_6	частково координований	0,5
7	Z_7	частково координований	0,5

Всього число результатів рівне 7, а сума показників координованості рівна 6, отже, середній показник рівний 0,857. Тому, як і у попередньому випадку, розглянута система бінарної координації характеризується вірогідністю благополучного завершення даного етапу, як відношення 2,857/3, тобто $P_k = 0{,}952$.

Черговим етапом процесу ухвалення рішення по попередженню зіткнень суден є вибір стратегії розходження. Тому розглянемо вірогідність коректного вибору оптимальної стратегії розходження.

Як показано в попередньому розділі, в даний час проводиться інтенсивна розробка способів оцінки наявності загрози зіткнення суден, що зближуються, і вибору оптимальної стратегії їх розходження використанням областей неприпустимих значень параметрів руху суден, які можуть бути застосовні як для локально-незалежного, так і повного зовнішнього управління процесом розходження суден.

У разі зовнішнього управління процесом розходження ситуація зближення пари суден спостерігається зовнішнім управлінцем і при появі загрози зіткнення формується стратегія розходження суден, яка передбачає зміну їх параметрів руху.

Якщо як змінні параметри вибираються курси суден, що зближуються, K_1, K_2, то одержимо область Ω_K неприпустимих значень курсів пари суден. Причому форма і розмір області залежать від співвідношення їх швидкостей V_1, V_2 і параметрів відносної ситуації зближення.

Якщо крапка з програмними курсами суден K_{1o} і K_{2o} знаходиться усередині області, то їх зближення є небезпечним. При необхідності виконання маневру розходження курси ухилення суден K_{1y} і K_{2y} вибираються так, щоб крапка (K_{1y}, K_{2y}) належала межі області Ω_K і мінімально відстояла від крапки (K_{1o}, K_{2o}).

За наявності навігаційних небезпек в районі плавання суден у разі їх небезпечного зближення може виникнути ситуація, коли судна не можуть

змінювати свій курс, тому для попередження їх зіткнення слід змінювати швидкості. В цьому випадку формується область Ω_V неприпустимих значень швидкостей пари суден.

Для стратегії розходження, при якому одне з суден змінює курс, зберігаючи незмінною швидкість, а друге судно на постійному курсі знижує свою швидкість, розглянута область Ω_{KV} неприпустимих значень курсів одного судна і швидкостей іншого судна, коли як змінні параметри вибираються курс одного судна K_1 (K_2) і швидкість другого судна V_2 (V_1), а незмінними є параметри руху суден K_2 (K_1) і V_1 (V_2).

При локально-незалежному управлінні процесом розходження вибір маневру розходження проводиться базовим судном зміною своїх параметрів руху K_1 і V_1 при допущенні постійності параметрів руху K_2 і V_2 цілі. Очевидно, змінними параметрами вибираються параметри руху судна і формується область Ω_d неприпустимих значень параметрів руху судна.

У ситуації наявності навігаційних небезпек або суден, що заважають, при небезпечному зближенні судна з ціллю в обмежених водах можуть виникати випадки, коли розходження маневром зміни курсу неможлива, що обумовлює необхідність використання маневру розходження зміною швидкості базового судна шляхом зниження швидкості судна активним або пасивним гальмуванням. При цьому гальмування судна починається в початковий момент часу і протягом часу гальмування швидкість зменшується до значення V_{1y}, після чого судно слідує з даною швидкістю до моменту часу найкоротшого зближення. Потім судно збільшує швидкість до початкового значення V_1. Швидкість розходження V_{1y} вибирається так, щоб забезпечити рівність дистанції найкоротшого зближення з гранично - допустимою дистанцією. Для вирішення вказаної задачі за визначенням швидкості розходження V_{1y} використовуються небезпечні області Θ_{dV} при активному і пасивному гальмуванні судна.

При використанні розглянутих методів оцінки небезпеки зближення суден і вибору маневру розходження за допомогою областей небезпечних значень параметрів руху оператору слід спочатку встановити приналежність крапки з початковими параметрами руху до відповідної області. У разі небезпечного зближення оператор повинен вибрати параметри маневру розходження на межі області. Для виконання вказаних операцій оператору потрібен незначний час, тому вірогідність коректного вибору оптимальної стратегії розходження P_s за допомогою розглянутих методів оцінки небезпеки зближення суден і вибору маневру розходження можна прийняти практично рівній одиниці, тобто $P_s = 1$.

Ще один метод оцінки небезпеки зближення суден і вибору маневру розходження при локально-незалежному управлінні процесом розходження для стандартного маневру розходження запропонований в роботі [78], який детально розглянутий в третьому розділі. Особливістю цього методу є відображення траєкторії вибраного маневру розходження на електронній карті, що дозволяє враховувати навігаційні небезпеки при виборі маневру розходження.

У даному способі момент часу початку ухилення t_y і курс ухилення K_y, вибираються так, щоб дистанція найкоротшого зближення була рівна гранично – допустимої дистанції зближення, а сукупність їх поєднань утворюють межу області $Q_{K,ty}$.

Аналогічно формується область $Q_{K,tb}$ на площині, межі якої G_{bs} і G_{bp} розділяють значення параметрів K_y і t_b на безпечну і неприпустиму області. При використанні методу на електронній карті ілюструються істинна і відносна траєкторії розходження, при цьому програмою проводиться розрахунок моментів часу початку і кінця повороту з урахуванням динамічної моделі обертального руху судна.

Якщо істинна траєкторії вибраного маневру розходження потрапляє на навігаційну небезпеку, то слід повторно вибирати маневр розходження, поки

він не виявиться вільним від навігаційних небезпек. У зв'язку з вказаною обставиною оперативність вибору маневру розходження небагато знижується, проте підвищується навігаційна безпека маневру розходження.

З урахуванням вищенаведених результатів оцінимо ефективність основних аналітичних систем попередження зіткнень суден. При цьому аналізовані аналітичні системи відносяться до двох груп: S_{1i} - з локально-незалежним управлінням процесом розходження і S_{2i} - із зовнішнім управлінням процесом розходження.

До першої групи відносяться системи:

- S_{11} - локально-незалежне управління процесом розходження, координація за допомогою МППЗС-72, для вибору маневру розходження використовуються області Ω_d неприпустимих значень параметрів руху судна і Θ_{dV} при активному і пасивному гальмуванні судна;

- S_{12} - локально-незалежне управління процесом розходження, координація за допомогою альтернативної системи бінарної координації, для вибору маневру розходження використовуються області Ω_d неприпустимих значень параметрів руху судна і Θ_{dV} при активному і пасивному гальмуванні судна;

- S_{13} - локально-незалежне управління процесом розходження, координація за допомогою системи координації трьох суден, для вибору маневру розходження використовуються області Ω_d неприпустимих значень параметрів руху судна і Θ_{dV} при активному і пасивному гальмуванні судна;

- S_{14} - локально-незалежне управління процесом розходження, координація за допомогою МППЗС-72, для вибору маневру розходження використовуються області $Q_{K,ty}$ і $Q_{K,tb}$ або Θ_{dV} при активному і пасивному гальмуванні судна;

- S_{15} - локально-незалежне управління процесом розходження, координація за допомогою альтернативної системи бінарної координації, для вибору маневру розходження використовуються області $Q_{K,ty}$ і $Q_{K,tb}$ або Θ_{dV} при активному і пасивному гальмуванні судна;

- S_{16} - локально-незалежне управління процесом розходження, координація за допомогою системи координації трьох суден, для вибору маневру розходження використовуються області $Q_{K,ty}$ і $Q_{K,tb}$ або Θ_{dV} при активному і пасивному гальмуванні судна.

До другої групи відносяться системи:

- S_{21} - зовнішнє управління процесом розходження, для вибору маневру розходження використовуються області Ω_K неприпустимих значень курсів суден і Ω_V неприпустимих значень швидкостей пари суден при активному і пасивному їх гальмуванні;

- S_{22} - зовнішнє управління процесом розходження, для вибору маневру розходження використовуються області Ω_{KV} неприпустимих значень курсів одного судна і швидкостей іншого судна, а також області Ω_V неприпустимих значень швидкостей пари суден при активному і пасивному їх гальмуванні.

Для перерахованих аналітичних систем попередження зіткнень суден оцінимо їх ефективність, враховуючи вірогідність рівня небезпеки зближення суден, вірогідність коректного визначення типу взаємодії суден P_k і вірогідність коректного вибору оптимальної стратегії розходження P_s. Відзначимо, що вірогідність P_b не залежить від типу аналітичних систем попередження зіткнень суден, а лише від похибки дистанції найкоротшого зближення, тому для всіх аналітичних систем приймаємо однакову вірогідність, значення якої рівне деякій величині, тобто $P_b = P_{con}$.

Значення вірогідності, P_k і P_s для перерахованих аналітичних систем попередження зіткнень суден представлені в табл. 4.4.

Аналіз табл. 4.4 показує, що мінімальне значення ефективності P_{sf} властиво існуючій аналітичній системі попередження зіткнень суден (S_{11}, S_{14}) з локально-незалежним управлінням процесом розходження і координацією за допомогою МППЗС-72. Найбільшим значенням

Таблиця 4.4

Значення вірогідності P_k і P_s

Системи	P_b	P_k	P_s	Ефективність P_{sf}
S_{11}	P_{con}	0,875	1	$0,875P_{con}$
S_{12}	P_{con}	0,952	1	$0,952P_{con}$
S_{13}	P_{con}	0, 976	1	$0,976P_{con}$
S_{14}	P_{con}	0,883	1	$0,883P_{con}$
S_{15}	P_{con}	0, 976	1	$0,976P_{con}$
S_{16}	P_{con}	0,998	1	$0,998P_{con}$
S_{21}	P_{con}	1	1	P_{con}
S_{22}	P_{con}	1	1	P_{con}

ефективності P_{sf} характеризуються аналітичні системи S_{21} і S_{22} із зовнішнім управлінням за умови застосування сучасних методів оцінки наявності загрози зіткнення суден, що зближуються, і вибору оптимальної стратегії їх розходження використанням областей неприпустимих значень параметрів руху суден.

З табл. 4.4 видно, що ефективність P_{sf} аналітичної системи в основному визначається вірогідністю коректного визначення типу взаємодії суден, чим і

пояснюється найбільша ефективність аналітичних систем із зовнішнім управлінням.

Проте зовнішнє управління процесом розходження в даний час може бути реалізоване тільки системою управління рухом суден (СУРС), що з економічних міркувань можливе тільки в деяких ділянках стислих вод.

Тому доцільно провести розробку аналітичної системи, яка б використовувала зовнішнє управління процесом розходження і не вимагала застосування СУРС. Така система може входити до складу ЗАРП і знаходиться на кожному з суден, причому з ЗАРП і АІС одержувати інформацію про навколишні судна і параметри їх руху.

Використовуючи одержану інформацію, пропонована аналітична система повинна вирішувати дві послідовні задачі. По-перше, в умовах інтенсивного судноплавства визначити групу взаємодіючих суден при виникненні ситуації небезпечного зближення. По-друге, за допомогою методів зовнішнього управління процесом розходження автоматично вирішити задачу вибору стратегії розходження зміною параметрів руху і виділити індивідуальний маневр розходження кожного з суден, що входить в одержану в результаті рішення сумісну стратегію.

4.5. Визначення групи взаємодіючих суден.

Розглянемо першу задачу - визначення групи взаємодіючих суден при виникненні ситуації небезпечного зближення. Припустимо, в обмеженому районі плавання є деяка множина суден $\mathrm{Mn_o}$, з якої необхідно сформувати групу взаємодіючих суден Σ_{ns}, число суден якої рівно або менше числу суден початкової множини $\mathrm{Mn_o}$, тобто $\Sigma_{ns} \subseteq \mathrm{Mn_o}$.

Враховуючи, що судна множини $\mathrm{Mn_o}$ переміщаються, і їх відносні позиції змінюються, можна стверджувати, що структура групи Σ_{ns} і матриця

D_{bn} ситуативного збурення співвідносяться з деяким моментом часу t, тобто $\Sigma_{ns}(t)$ і $D_{bn}(t)$. Так, як структура групи суден Σ_{ns} мінлива в часі, то її управління припускає спостереження її стану (структури і матриці D_{bn}) в деякий момент спостереження t_n і прогноз стану на деякий інтервал часу Δt_n, вважаючи, що всі характеристики групи суден, не залежні від часу, залишаються незмінними в перебігу інтервалу Δt_n.

Тому передбачається, що група суден, у момент часу спостереження t_n, зберігається протягом інтервалу часу Δt_n, а в черговий момент часу спостереження $t_n + \Delta t_n$ здійснюється контроль структури групи суден Σ_{ns} і матриці ситуативного збурення.

Необхідно враховувати, що формування групи суден Σ_{ns} здійснюється по різних алгоритмах для випадку управління суднами СУРС або судновою інформаційною системою, що вирішує задачу сумісної компенсації ситуативного збурення.

Так, у разі, коли зовнішнім управлінцем є СУРС, основним принципом виділення групи взаємодіючих суден є врахування їх близькості до СУРС. Оскільки СУРС розташовуються в безпосередній близькості від стислих районів з інтенсивним рухом, то їм призначається деякий район контролю і управління рухомих суден, який позначений S_c. Тому групою взаємодіючих суден є судна, які знаходяться в районі контролю і управління, причому їх кількість обмежена залежно від пропускної спроможності СУРС.

В цьому випадку розмірність матриці ситуативного збурення D_{bn} визначається числом суден, що знаходяться в районі, а елементи матриці, тобто парні ситуативні збурення суден, визначаються по їх відносних позиціях і параметрах руху. Якщо судно покидає район, то воно виключається з групи взаємодіючих суден, а якщо, навпаки, входить в район, то воно включається в групу Σ_{ns}.

Для алгоритму виділення групи суден, коли як зовнішній управлінець використовується суднова інформаційна система сумісної компенсації ситуативного збурення, слід запропонувати інший принцип, який полягає в наступному.

Суднова інформаційна система як перше судно c_1 формованої групи взаємодії, вибирає судно, на якому вона встановлена. Подальші судна включаються в початкову групу, виходячи з таких міркувань.

Перш за все, необхідно враховувати дві умови зупинки включення суден початкової множини Mn_o в початкову групу суден Σ_o. По-перше, якщо дистанція до судна L_i перевершує граничну L_{max}, і, по-друге, якщо інтервал часу до початку взаємодії з і-м судном Δt_{bi} перевершує глибину прогнозу Δt_n.

Суднова інформаційна система в області радіусом L_{max} визначає небезпеку зближення з кожним з навколишніх суден, починаючи з того, до якого дистанція мінімальна. Процедура виявлення небезпечного зближення дає симетричний результат для аналізованої пари суден, тобто якщо судно c_1 небезпечно зближується з судном c_i, то і судно c_i небезпечно зближується з судном c_1, причому небезпека зіткнення однакова. Якщо небезпека зіткнення з судном c_i відмінна від нуля і виконується умова $\Delta t_n > \Delta t_{bi}$, то судно включається в початкову групу суден Σ_o. Формування початкової групи продовжується до тих пір, поки не набуде чинності обмеження по максимальній дистанції. Таким чином виявляються початкова група суден Σ_o, з якими можлива взаємодія судна c_1.

Далі слід провести аналіз суден (цілей) початкової групи Σ_o, кожна з яких характеризується позицією щодо базового судна c_1, пеленгом α_i і дистанцією l_i, а також параметрами істинного руху швидкістю V_i і курсом K_i.

В першу чергу розглянемо підмножини цілей, розділених по рівню небезпеки зіткнення базового судна з кожною з них. У першу підмножину цілей M_1 слід віднести ті цілі, які віддаляються від базового судна, причому при будь-якій зміні курсу цілі даної підмножини і незмінних параметрах руху базового судна дистанція l_i не зменшується. До другої підмножини цілей M_2 віднесемо ті цілі, дистанція l_i до яких збільшується, проте, при незмінних параметрах руху цілі цієї підмножини для будь-яких курсів базового судна K_0 дистанція l_i не зменшується. Третя підмножина цілей M_3 також характеризується тим, що дистанція l_i до них збільшується, проте вони не належать до перших двох підмножин M_1 і M_2.

Для решти підмножин цілей характерне те, що вони зближуються з базовим судном, і їх можна диференціювати по ознаці небезпеки зіткнення. Відомо, що рівень небезпеки зближення суден характеризують гранично – допустимою дистанцією найкоротшого зближення. У роботі [63] пропонується розглядати два значення гранично – допустимої дистанції найкоротшого зближення для випадків звичного і екстреного маневрування, які позначені відповідно через l_{1d} і l_{2d}. Тому до четвертої підмножини M_4 віднесені цілі, дистанція l_i до яких зменшується, проте дистанція найкоротшого зближення $l_{i\,min}$ більша гранично – допустимої дистанції l_{1d}, тобто відносне переміщення суден не є небезпечним.

До подальших підмножин належать тільки ті цілі, які створюють небезпеку зіткнення. Чергова, п'ята, підмножина M_5 містить цілі, з якими базове судно знаходиться в першій області взаємних обов'язків, тобто у нинішній момент часу активне (що має поступитися дорогою) судно може не робити маневру для розходження (наприклад, його маневр буде малопомітним). До шостої підмножини M_6 відносяться такі цілі, які знаходяться в другій області взаємних обов'язків, в якій активне судно повинне поступитися дорогою, а пасивне – слідувати з незмінними параметрами руху. Цілі, що знаходяться в третій області взаємних обов'язків,

в якій активне судно зобов'язане поступитися дорогою, а пасивне, якщо визнає необхідним, може зробити маневр розходження, формують сьому підмножину M_7.

Восьму підмножину M_8 складають цілі, які знаходяться в четвертій області взаємних обов'язків, - області екстреного маневрування, коли обидва взаємодіючі судна повинні вжити термінових заходів для запобігання зіткненню.

Таким чином, множина початкової групи навколишніх цілей Σ_o містить деяку кількість перерахованих підмножин, принаймні хоча б одне з них. Аналіз запропонованої декомпозиції початкової групи Σ_o на підмножини показує, що декомпозиція проводиться по наступних параметрах:

1. Характер зміни дистанції між ціллю c_i і базовим судном, (збільшення або зменшення). По даному параметру проводиться декомпозиція на підмножини M_1, M_2 і M_3, яким відповідає збільшення дистанції ($\partial l_i / \partial t \geq 0$), і підмножини M_4, M_5, M_6, M_7 і M_8, для яких $\partial l_i / \partial t < 0$.

2. Можливість змінити зростання дистанції маневром базового судна або цілі для випадку $\partial l_i / \partial t \geq 0$, що дозволяє провести декомпозицію на підмножини M_1, M_2 і M_3.

3. Співвідношення дистанції найкоротшого зближення $l_{i\,min}$ з гранично - допустимою дистанцією l_{1d}, яке виділяє підмножину M_4, у випадку $l_{i\,min} > l_{1d}$ від M_5, M_6, M_7 і M_8.

4. Приналежність цілі і базового судна до певної області взаємних обов'язків, по цьому параметру відбувається декомпозиція на підмножини M_5, M_6, M_7 и M_8.

Приведемо аналітичні вирази для декомпозиції початкової множини суден М на підмножини по розглянутих ознаках, які приведені в роботі [63], і показано, що при $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) > 0$, поточна дистанція між судном і ціллю

скорочується, а при $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) < 0$ поточна дистанція збільшується. Тому для початкової декомпозиції початкової множини слідує для кожної з цілей провести аналіз знаку виразу $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni})$. Для цілей, у яких $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) < 0$, тобто підмножин, M_1 M_2 і M_3 параметром подальшої декомпозиції є можливість змінити знак виразу $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni})$ шляхом зміни курсів ціллю або базовим судном. Якщо швидкість цілі V_i не перевершуватиме проекцію швидкості базового судна V_o на напрям пеленгу, то ціль не зможе скорочувати відстань до базового судна, тобто повинен бути справедливим вираз $V_i < V_o \cos(K_o - \alpha_{ni})$. В цьому випадку ціль, що відповідає приведеній умові, відноситиметься до першої підмножини M_1. Аналогічно, базове судно не зможе скоротити дистанцію до цілі, якщо його швидкість буде менше проекції швидкості цілі на напрям пеленга, тобто матиме місце наступна нерівність $V_o < V_i \cos(K_i - \alpha_{ni})$. Очевидно, що всі цілі, для яких справедливо це співвідношення відносяться до підмножини цілей M_2. Якщо ж параметри цілі не задовольняють жодній з цих умов $V_i < V_o \cos(K_o - \alpha_{ni})$ і $V_o < V_i \cos(K_i - \alpha_{ni})$, то ціль належить до підмножини M_3, коли в результаті маневрування базового судна або цілі можливе скорочення відстані, яке спочатку збільшувалося.

Подальша декомпозиція передбачає отримання підмножин цілей, які зближуються з базовим судном. Відповідним параметром є співвідношення дистанцій найкоротшого зближення $l_{i\,min}$ і гранично - допустимої l_{ld}. Причому, якщо має місце нерівність $l_{i\,min} > l_{ld}$, то ціль відноситься до підмножини M_4. З урахуванням того, що дистанція найкоротшого зближення $l_{i\,min}$ визначається відомим виразом [65]:

$$l_{i\,min} = l_{ni} \sin(K_{oti} - \alpha_{ni}),$$

умова приналежності цілі підмножині M_4 приймає вигляд:

$$l_{ni} \sin(K_{oti} - \alpha_{ni}) > l_{ld}.$$

Якщо приведена умова не виконується, то ціль належить одній з підмножин M_5, M_6, M_7 або M_8, що характеризують цілі, зближення з якими створює загрозу зіткнення. Приналежність цілі до однієї з вказаних чотирьох підмножин визначає область взаємних обов'язків базового судна і цілі. Як параметр, що характеризує подальшу декомпозицію на підмножини M_5, M_6, M_7 і M_8 використовується співвідношення часу найкоротшого зближення $t_{i\,min}$ з і–ю ціллю із значеннями t_{i1}, t_{i2} і t_{i3}, які залежать від гранично - допустимих дистанцій l_{ld} і l_{2d}, а також від параметрів руху і відносної позиції базового судна та і–ї цілі. Відомо, що [65]:

$$t_{i\,min} = \frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}},$$

де V_{oti} - відносна швидкість з і–й ціллю.

Якщо справедлива нерівність $\frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i1}$, то ціль належить до підмножини M_5. У разі справедливості умови $\frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i2}$ ціль належить підмножині M_6, яка характеризує другу область взаємних обов'язків суден. Якщо виконується умова $t_{i2} > \frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i3}$, то ціль належить підмножині M_7. Приналежність цілі до останньої з даних підмножин M_8 визначається справедливістю нерівності $t_{i3} > \frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}}$, що відносяться до цілей, що знаходяться у області екстреного маневрування.

Таким чином, кожна з оточуючих судно цілей належить до однієї з восьми розглянутих непересічних підмножин, впорядкованих по ступеню небезпеки, що належать їй цілей.

З урахуванням вищевикладеного розглянемо виділення групи взаємодіючих суден Σ_{ns} з початкової групи Σ_o. Очевидно, що з початкової групи Σ_o слід виключити судна, що належать підмножинам M_1, M_2 і M_3. Судна, що залишилися, складають групу взаємодіючих суден Σ_{ns}, для яких необхідно сформувати матрицю ситуативного збурення. Тим судам, ситуативне збурення яких не рівне нулю, інформаційна система базового судна c_1 передає повідомлення з пропозицією про включення їх в групу суден, що небезпечно зближуються Σ_d. Якщо пропозиція прийнята, то судно, що відповідає, включається в групу Σ_d, а іншому випадку воно ідентифікується, як судно, що заважає.

Тому вибір стратегії розходження проводиться зміною курсів частини або всіх суден групи Σ_d з урахуванням суден, що заважають. Потім по одержаній стратегії розходження задіяним судам повідомляються їх курси ухилення і час їх початку.

Спосіб формування стратегії розходження автоматично або за допомогою областей неприпустимих значень курсів суден розглянемо в наступному розділі дисертаційного дослідження.

4.6. Висновки по четвертому розділу.

У четвертому розділі викладені основні етапи процесу ухвалення рішення по попередженню зіткнень суден. Показано, що істотними є чотири етапи, а сам процес залежить від принципу управління процесом розходження суден.

Для зіставлення аналітичних систем попередження зіткнень суден запропонована процедура оцінки їх ефективності, яка визначається вірогідністю безпечного завершення процесу розходження.

Запропонована оцінка вірогідності ступеня небезпеки зближенні суден, для розрахунку якої одержаний аналітичний вираз щільності розподілу вірогідності похибки дистанції найкоротшого зближення у разі розподілу похибок вимірювань пеленга і дистанції по нормальному закону.

Розроблений спосіб оцінки вірогідності коректного визначення типу взаємодії суден і вибору оптимальної стратегії розходження. Показана перевага зовнішнього управління процесом розходження суден через відсутність необхідності координації їх взаємодії. Для МППЗС-72 і альтернативної системи бінарної координації розроблена оцінка вірогідності коректного визначення типу взаємодії суден.

Запропонована процедура формування групи взаємодіючих суден для визначення сумісної стратегії розходження з метою компенсації ситуативного збурення.

РОЗДІЛ 5.
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1. Визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

Розглянемо ситуацію, коли в групі, що складається з n взаємодіючих суден, виникає ситуативне збурення, компенсація якого проводиться стратегією $u = \{\Delta K_i\}$, де ΔK_i - приріст курсів кожного з суден. Значення ΔK_i слід вибирати так, щоб дистанції найкоротшого зближення кожної пари суден $\min D_{ij}$ були не менше гранично - допустимої дистанції d_d, тобто $\min D_{ij} \geq d_d$.

Множина стратегій U, при яких для всіх $\min D_{ij}$ виконується умова $\min D_{ij} \geq d_d$, складає її допустиму область U_d. Кожній стратегії $u = \{\Delta K_i\} \in U_d$ відповідає критерій оптимальності $Q = \sum_{i=1}^{n} \Delta K_i^2$. Звертаємо увагу, що критерій оптимальності Q є квадратом відстані в n – мірному просторі $\Delta K_1 \times \Delta K_2 \times ... \times \Delta K_i \times ... \times \Delta K_{n-1} \times \Delta K_n$. Очевидно, що оптимальне значення стратегії $u_o = \{\Delta K_i\}$ досягається при мінімумі критерію оптимальності, 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.

З урахуванням вищевикладеного задача вибору оптимальної стратегії розходження формалізується таким чином:

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

$$\min D_{ij} \geq d_d. \qquad (5.1)$$

Останню умову можна записати таким чином:

$$(K_i, K_j) \notin S_{Dij}.$$

Враховуємо, що $K_k = K_{nk} + \Delta K_k$, де K_{nk} - початкове значення курсу k-го судна, і одержимо:

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

Тому вираз для початкової задачі (5.1) приймає наступний вигляд:

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

$$(K_{ni} + \Delta K_i, K_{nj} + \Delta K_j) \notin S_{Dij}. \qquad (5.2)$$

Знайдемо значення змін курсів кожного з суден, при яких досягається мінімум критерію оптимальності, для чого знайдемо часткові похідні критерію оптимальності Q по кожній із змінних ΔK_k і прирівняємо їх до нуля, тобто $\frac{\partial Q}{\partial \Delta K_k} = 0$. З урахуванням виразу для Q одержимо:

$$\frac{\partial}{\partial \Delta K_k}\left(\sum_{i=1}^{n} \Delta K_i^2\right) = 2\Delta K_k = 0,$$

звідки витікає, що мінімальне значення критерію оптимальності Q досягається при приближені до нуля змін курсів кожного з суден ΔK_k. Так,

як при небезпечному зближенні пари суден крапка знаходиться в небезпечній області, то мінімальна зміна курсу досягається при значенні курсу ухилення, відповідного межі небезпечної області. Якщо точки межі небезпечної області позначити, то мінімальне допустиме значення зміна курсу, що забезпечує мінімум критерію оптимальності, визначається виразом:

$$\Delta K_k = 0, \text{ якщо } (K_{nk}, K_{nj}) \notin S_{Dij};$$
$$\Delta K_k = K_k{}^* - K_{nk}, \text{ якщо } (K_{nk}, K_{nj}) \in S_{Dij}. \qquad (5.3)$$

Якщо зміни курсів суден ΔK_k вибрати відповідно до виразу (5.3), то буде реалізована оптимальна стратегія, що належить до допустимої області, яка забезпечує мінімальне значення критерію оптимальності Q.

Залежно від структури матриці ситуативного збурення W_{bn} безпечне розходження суден може бути компенсоване зміною курсу різної кількості суден взаємодіючої групи (від одного до всіх). Тому найбільш переважним є маневр розходження, в якому змінюють курс найменша кількість суден. Іншими словами, найкращою є стратегія, у якої більше число змін курсу рівне нулю. Проте для кожної стратегії U_m із заданим значенням m ненульових компонент ΔK_i визначено граничне значення критерію оптимальності Q_m^*, яке регламентує необхідність збільшення на одиницю розмірності стратегії U_{m+1}.

Умова вибору оптимальної стратегії розходження для ситуації небезпечного зближення чотирьох суден при необхідності зміни курсів кожного з них, має вигляд:

$$Q_4^{(\Sigma)} = (\Delta K_1^2 + \Delta K_2^2 + \Delta K_3^2 + \Delta K_4^2) \to \min$$
$$(K_{n1} + \Delta K_1, K_{n2} + \Delta K_2) \notin S_{D12}, \qquad (1)$$
$$(K_{n1} + \Delta K_1, K_{n3} + \Delta K_3) \notin S_{D13}, \qquad (2)$$

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

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

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

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

Для пошуку оптимальних значень приростів курсу ΔK_1, ΔK_2, ΔK_3 і ΔK_4 слід поступити таким 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 суднами решти справедливі нерівності $\min D_{1j}(\Delta K_1, \Delta K_j) < D_d$ (j>1), тобто $(K_{n1} + \Delta K_1, K_{nj} + \Delta K_j) \in S_{D1j}$, 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 проводиться до тих пір, поки 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 прирости курсу ΔK_2 на 1° і проводиться розрахунок дистанцій $\min D_{21}(\Delta K_2, \Delta K_1)$, $\min D_{23}(\Delta K_2, \Delta K_3)$ і $\min D_{24}(\Delta K_2, \Delta K_4)$, 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 проводиться сканування площини $K_3 \times K_4$, тобто для кожної точки площини розраховується дистанція найкоротшого зближення $\min D_{34}(\Delta K_3, \Delta K_4)$ і зіставляється по величині з гранично допустимою дистанцією D_d. 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, ΔK_4 є безпечним і для цього маневру проводиться розрахунок критерію оптимальності $Q_4^{(\Sigma)} = \Delta K_1^2 + \Delta K_2^2 + \Delta K_3^2 + \Delta K_4^2$. Із зростанням числа безпечних маневрів відбирається маневр з мінімальним значенням критерію оптимальності і його параметри приймаються оптимальними. 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.

Після сканування для всіх значень приросту курсу ΔK_2 через 1°, значення ΔK_2 приймає початкове значення, а прирости курсу ΔK_1 збільшується на 1° і для нового незмінного значення ΔK_1 проводиться збільшення ΔK_2 на 1° з подальшим скануванням площини $K_3 \times K_4$, в процесі якого виявляються безпечні маневри і розраховуються їх критерії оптимальності, а також вибирається маневр (стратегія) 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 оптимальної стратегії розходження проводиться послідовне збільшення приросту курсу ΔK_1 по всіх можливих значеннях. Вичерпавши сканування по всіх значеннях ΔK_1, процес вибору оптимального маневру

завершується. Стратегія з мінімальним значенням критерію оптимальності $Q_4^{(\Sigma)}$ вибирається як оптимальна стратегія розходження. На рис. 5.1

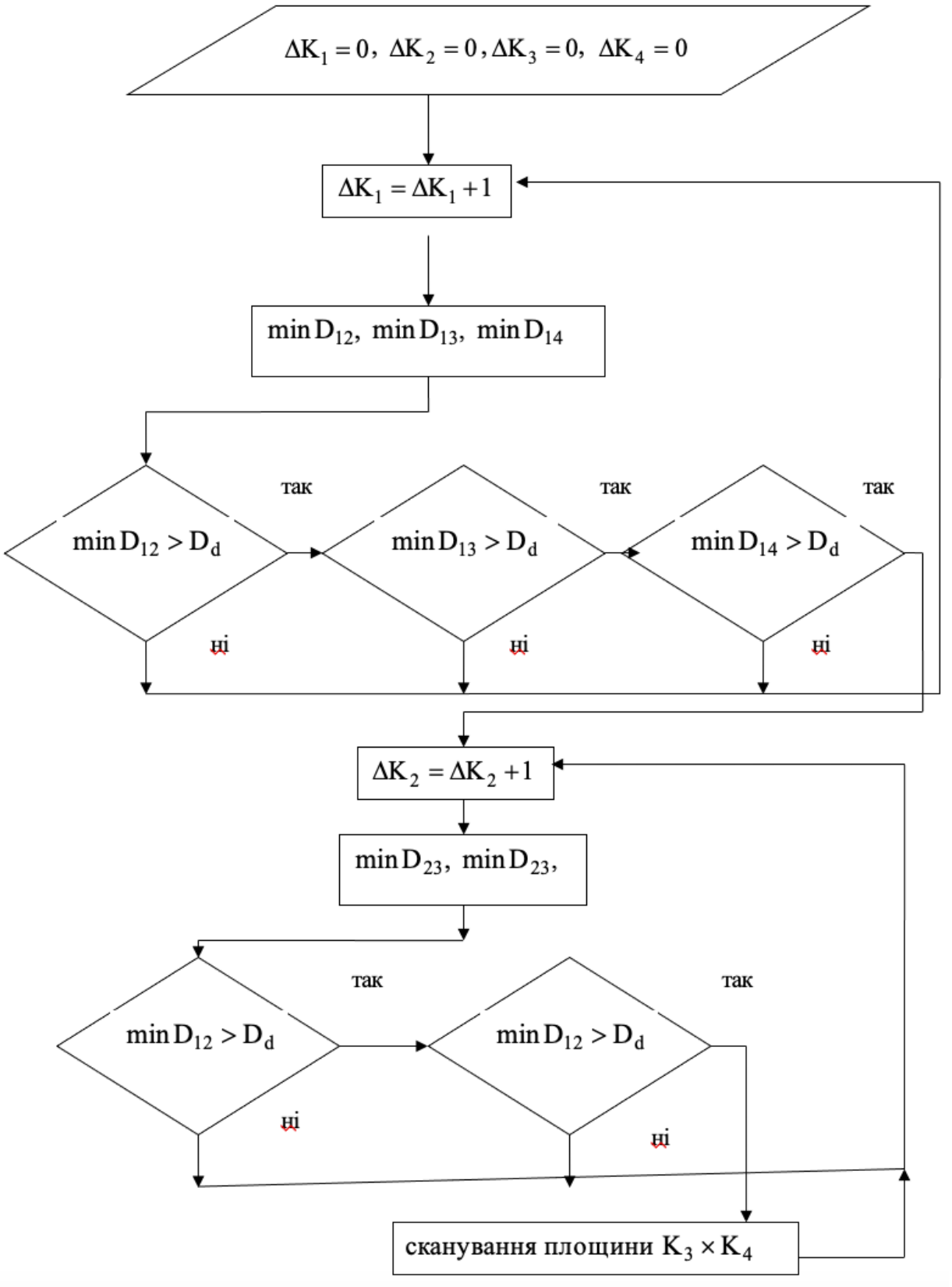

Рис. 5.1. Алгоритм пошуку оптимальної стратегії розходження

приведений алгоритм пошуку оптимальної стратегії розходження способом сканування.

Відзначимо, що аналогічно проводиться визначення оптимальної стратегії розходження способом сканування для ситуацій небезпечного зближення двох, трьох і п'яти суден. Для ситуацій небезпечного зближення трьох і чотирьох суден надалі проводилося імітаційне моделювання визначення оптимальної стратегії розходження і перевірка її коректності.

5.2. Імітаційне моделювання визначення оптимальної стратегії розходження в ситуації небезпечного зближення трьох суден.

Для ситуації небезпечного зближення трьох суден за допомогою раніше розглянутого алгоритму була розроблена імітаційна програма визначення оптимальної стратегії розходження. Програмою передбачене введення параметрів ситуації небезпечного зближення, розрахунок курсів ухилення суден для безпечної розходження і перевірка її коректності шляхом програвання одержаної стратегії. Як приклад розглянемо наступну ситуацію небезпечного зближення трьох суден, яка показана на рис. 5.2 і характеризується наступними параметрами:

$K_1 = 87°$, $K_2 = 188°$, $K_3 = 347°$, $V_1 = 18$ вуз, $V_2 = 24$ вуз, $V_3 = 18$ вуз, $\alpha_{12} = 45°$, $\alpha_{13} = 135°$, $\alpha_{23} = 180°$, $D_{12} = 3{,}5$ м, $D_{13} = 3{,}5$ м, $D_{23} = 5{,}0$ м.

Програмою були розраховані значення курсів ухилення всіх трьох суден, що небезпечно зближуються, які рівні наступним значенням:

$$K_{1y} = 56°,\ K_{2y} = 169°,\ K_{3y} = 347°.$$

Звертаємо увагу, що для безпечної розходження досить зміни курсів першого і другого суден.

Перевірка коректності розрахованої стратегії розходження проводиться в два етапи: по-перше, за допомогою області неприпустимих значень курсів

перевіряється безпека розходження кожної пари суден, що зближуються, і, по-друге, проводиться імітаційне моделювання процесу розходження групи суден.

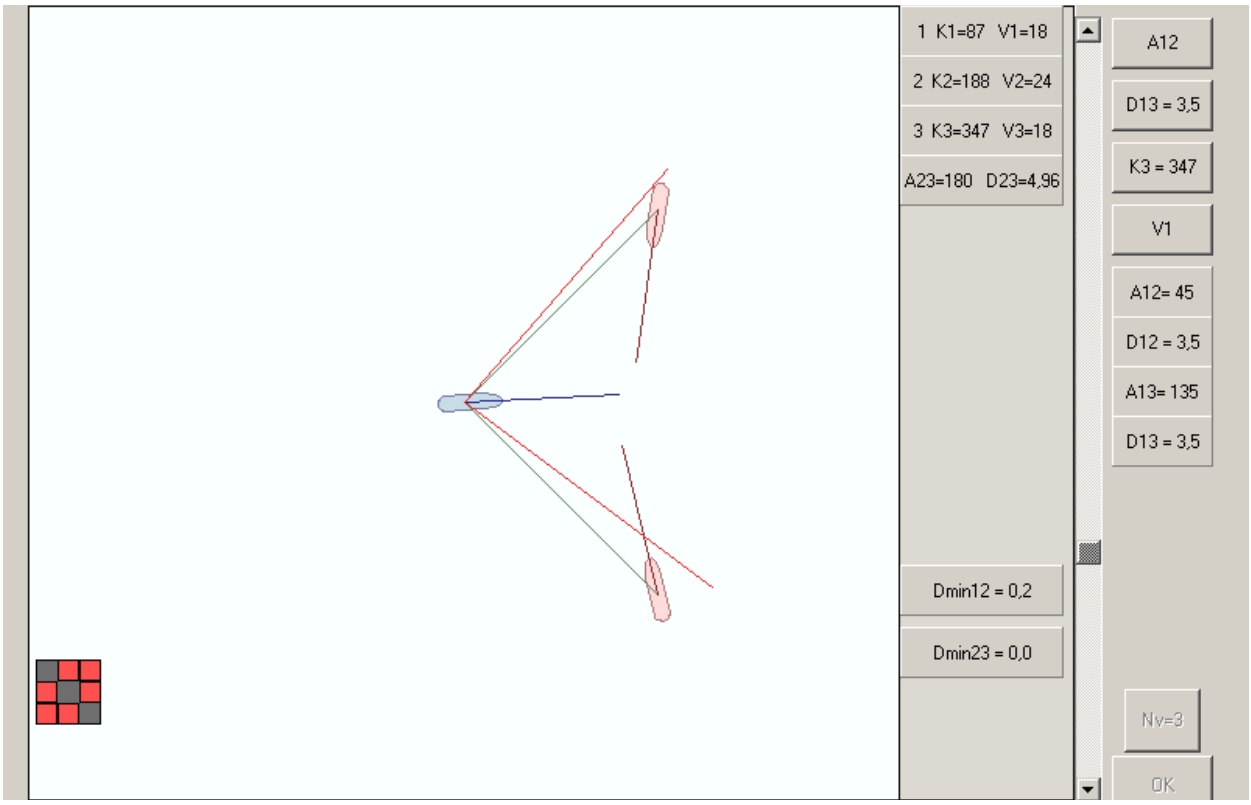

Рис. 5.2. Ситуація небезпечного зближення трьох суден

Розглянемо перший етап перевірки коректності стратегії розходження трьох суден. На рис. 5.3 показана початкова позиція зближення першого і другого суден, яке є небезпечним, оскільки $\min D_{12} = 0{,}2$.

З рис. 5.4 видно, що для розрахованих курсів ухилення $K_{1y} = 56°$ і $K_{2y} = 169°$, перше і друге судна безпечно розходяться, причому дистанція найкоротшого зближення складає 1,63 милі.

Безпека розходження першого і другого суден також підтверджується областю неприпустимих значень їх курсів, що показано на рис. 5.5, з якого видно, що крапка, відповідна курсам ухилення суден на перетині вертикальної і горизонтальної ліній знаходиться поза областю.

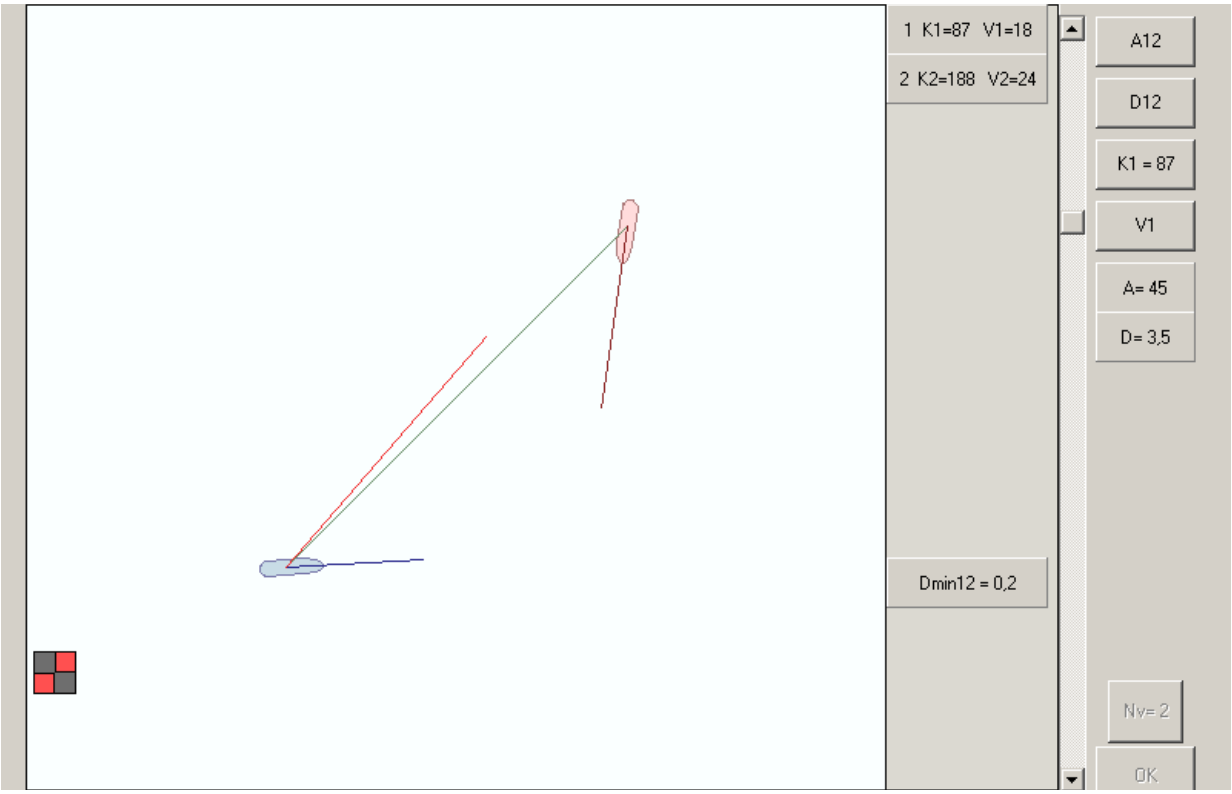

Рис. 5.3. Початкова позиція зближення першого і другого суден

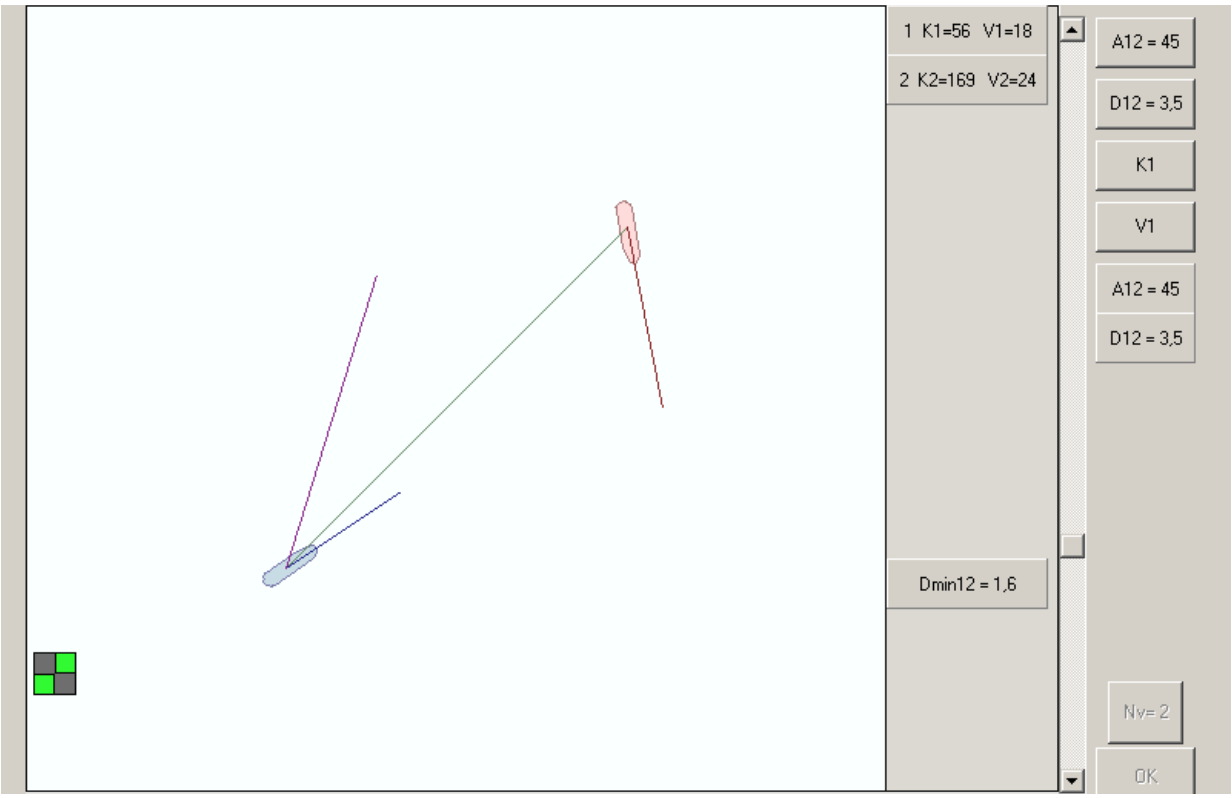

Рис. 5.4. Безпечне розходження першого і другого суден

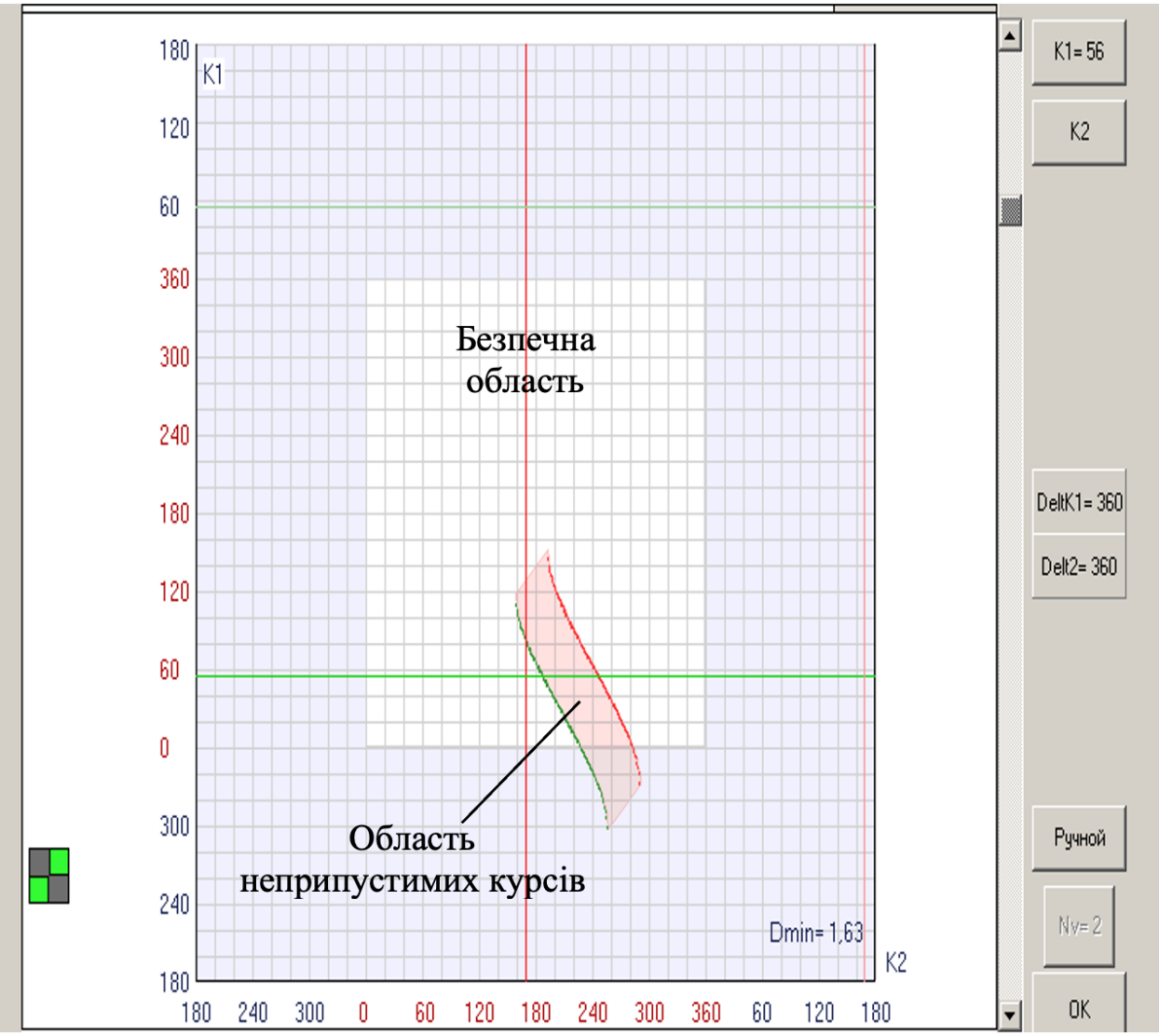

Рис. 5.5. Область неприпустимих значень курсів першого і другого суден

Початкова відносна позиція зближення першого і третього суден показана на рис. 5.6, причому зближення цих суден є небезпечним, тому що дистанція найкоротшого зближення $\min D_{13} = 0{,}4$.

Як випливає з рис. 5.7, перше і третє судна, при курсах ухилення $K_{1y} = 56°$ і $K_{3y} = 347°$, безпечно розходяться, при цьому дистанція найкоротшого зближення рівна 1,39 милі. На рис. 5.8 показана область неприпустимих значень курсів першого і третього суден. З рисунка видно, що крапка, відповідна їх курсам ухилення, не належить області, що свідчить про безпеку розходження суден.

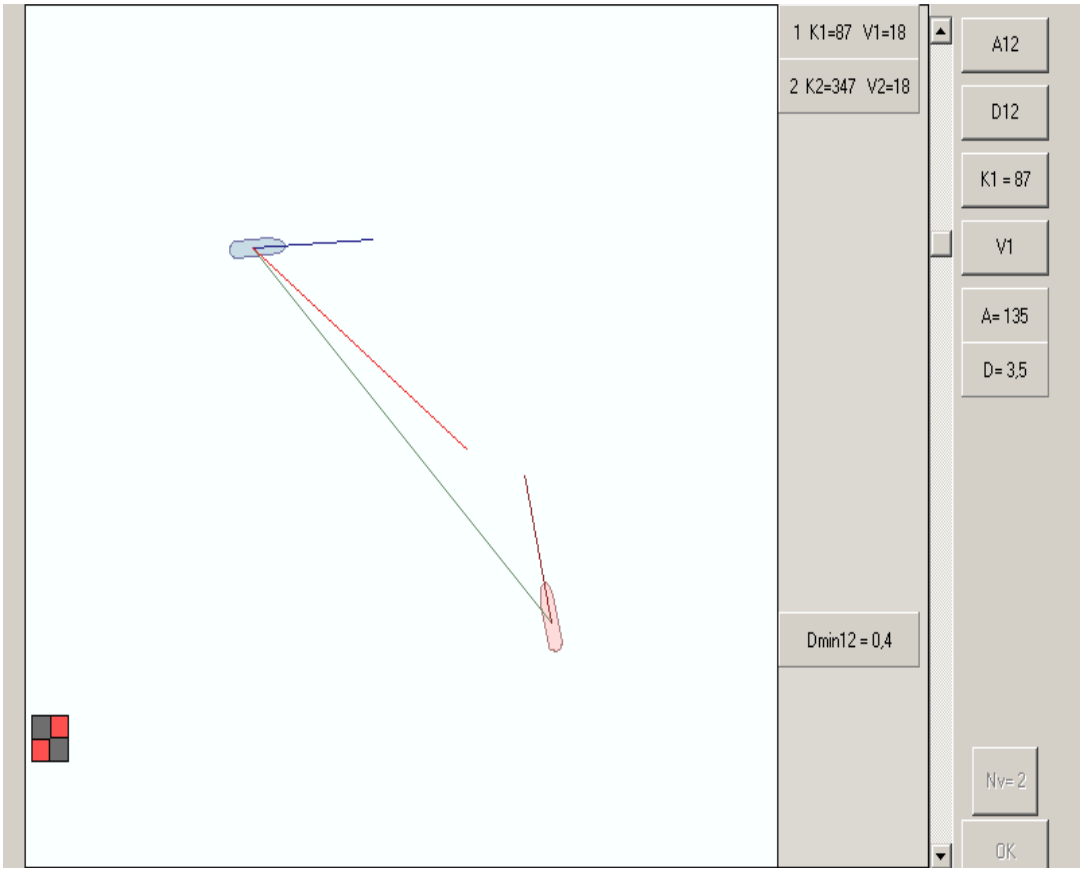

Рис. 5.6. Початкова позиція зближення першого і третього суден

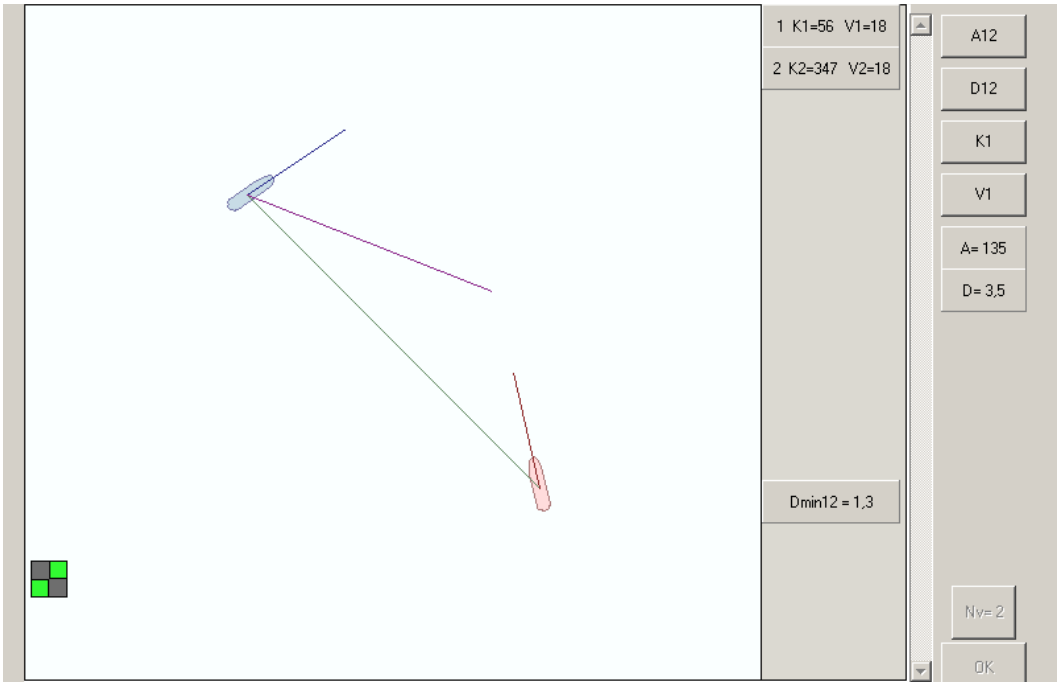

Рис. 5.7. Безпечне розходження першого і третього суден

Рис. 5.8. Область неприпустимих значень курсів першого і третього суден

Небезпечне зближення другого і третього суден, обумовлене їх початковою відносною позицією, показане на рис. 5.9, причому дистанція найкоротшого зближення $\min D_{23} = 0{,}0$.

З рис. 5.10 виходить, що при проходженні курсами ухилення $K_{2y} = 169°$ і $K_{3y} = 347°$, друге і третє судна безпечно розходяться на дистанції найкоротшого зближення 1,02 милі. Також безпека розходження другого і третього суден підтверджується рис. 5.11, з якого видно, що крапка, відповідна курсам ухилення суден, та, що знаходиться на перетині вертикальної і горизонтальної ліній курсів їх ухилення знаходиться поза областю неприпустимих значень курсів прямо на нижній межі області, ніж і пояснюється фактична рівність дистанції найкоротшого зближення з гранично-допустимою дистанцією.

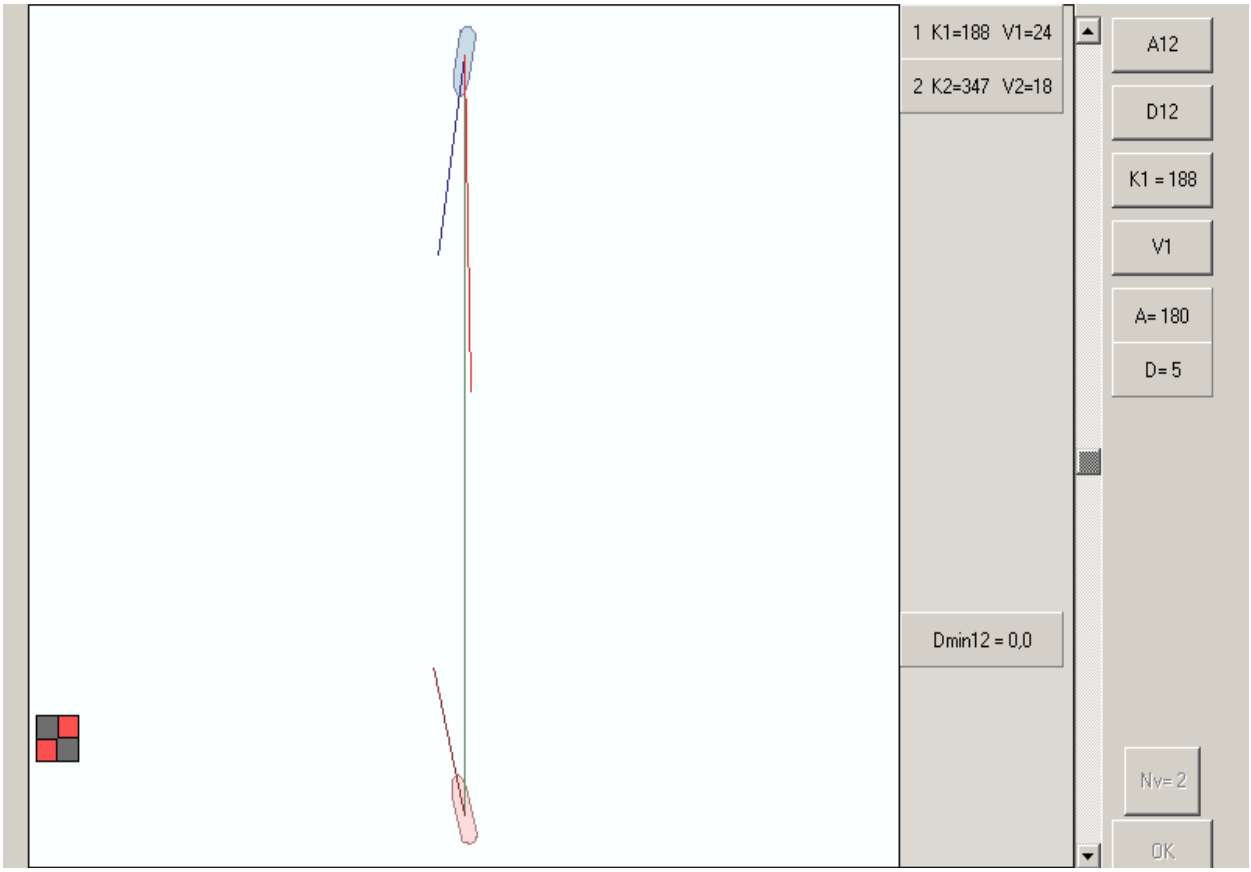

Рис. 5.9. Початкова позиція зближення другого і третього суден

Рис. 5.10. Безпечне розходження другого і третього суден

Рис. 5.11. Область неприпустимих значень курсів другого і третього суден

Розглянемо другий етап перевірки коректності розрахованої стратегії розходження: імітаційне моделювання процесу розходження трьох суден розрахованими курсами ухилення $K_{1y} = 56°$, $K_{2y} = 169°$, $K_{3y} = 347°$. Початок процесу розходження на третій секунді показаний на рис. 5.12.

Ситуація найкоротшого зближення першого і другого суден на дистанцію 1,64 милі відображена на рис. 5.13, яка має місце на 334 с процесу розходження.

На рис. 5.14 показана ситуація найкоротшого зближення другого і третього суден на дистанцію 1,01 милі практично рівної гранично - допустимої дистанції зближення. Дана ситуація наступає на 414 с після початку процесу розходження.

На 562 с після початку процесу розходження відбувається найкоротше зближення першого і третього суден, дистанція якого рівна 1,39 милі. Дана ситуація показана на рис. 5.15.

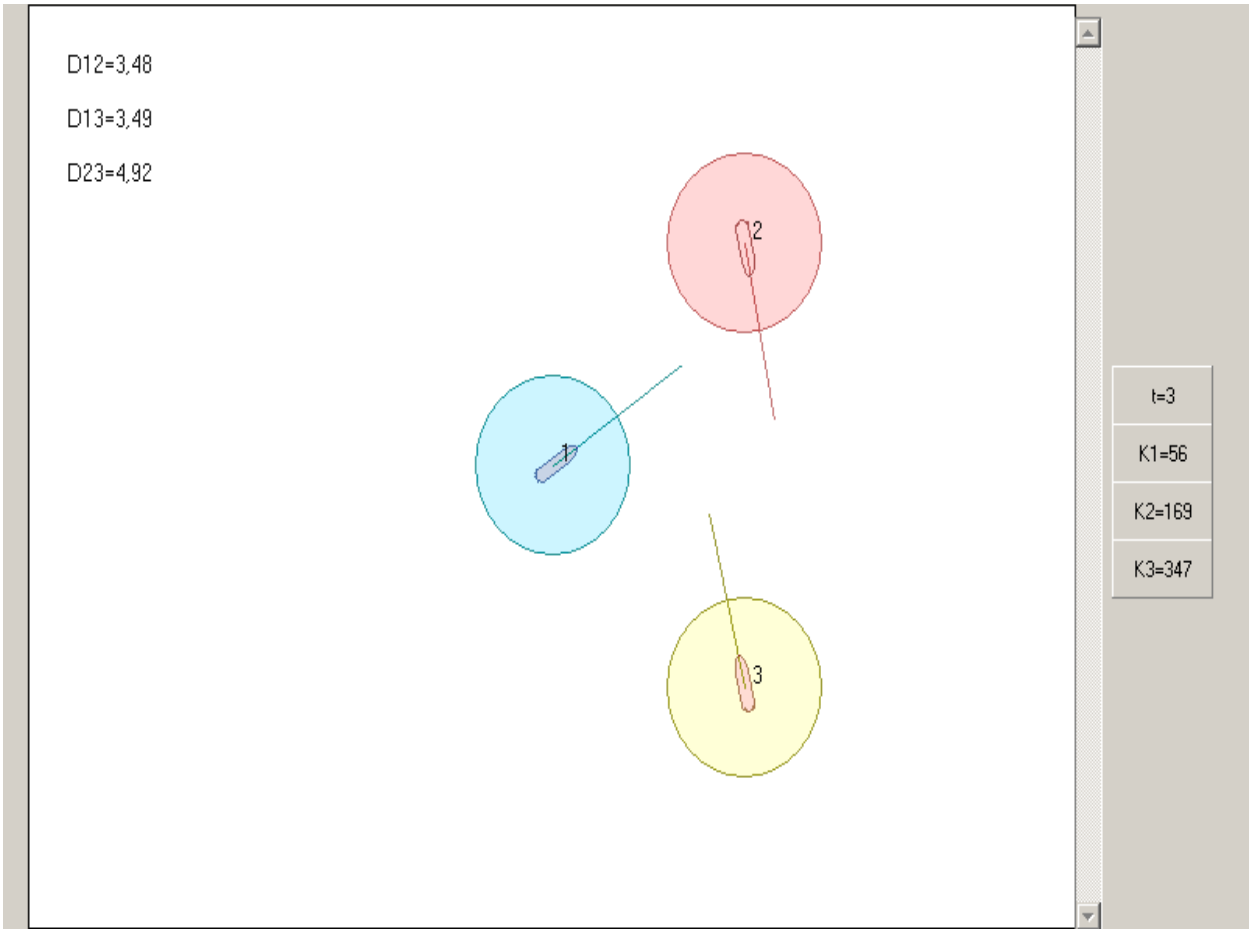

Рис. 5.12. Початок процесу розходження суден

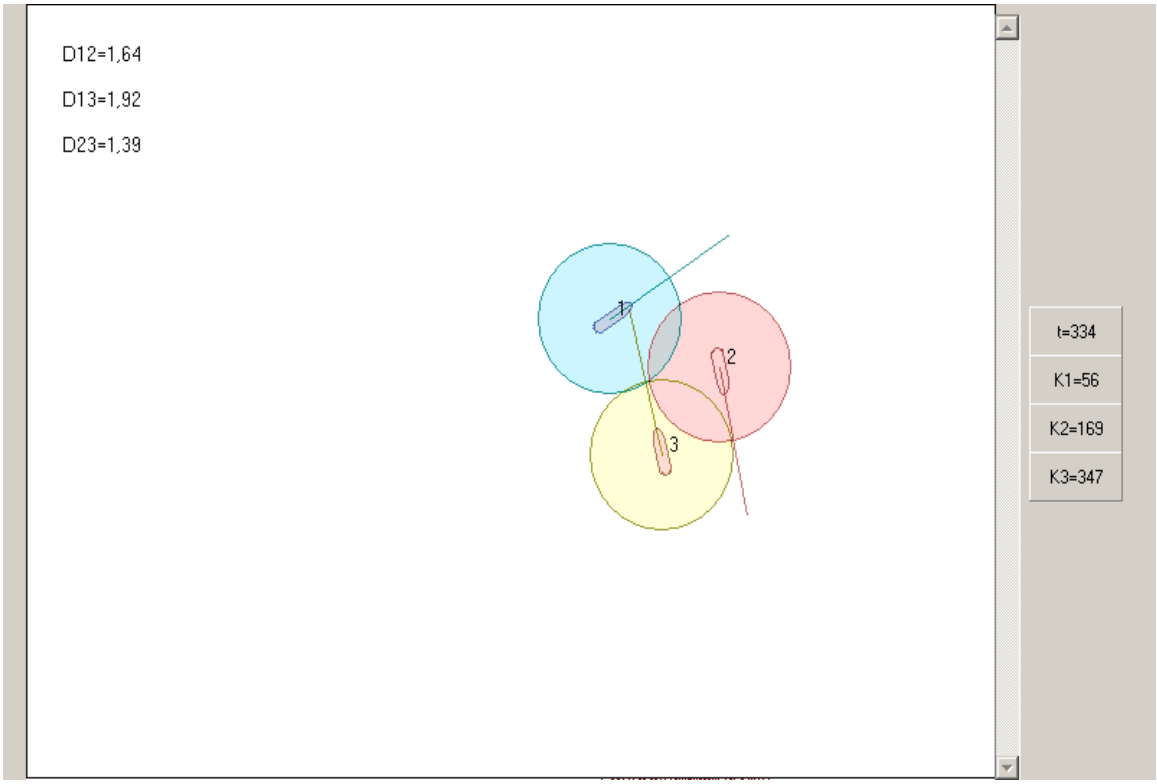

Рис. 5.13. Ситуація найкоротшого зближення першого і другого суден

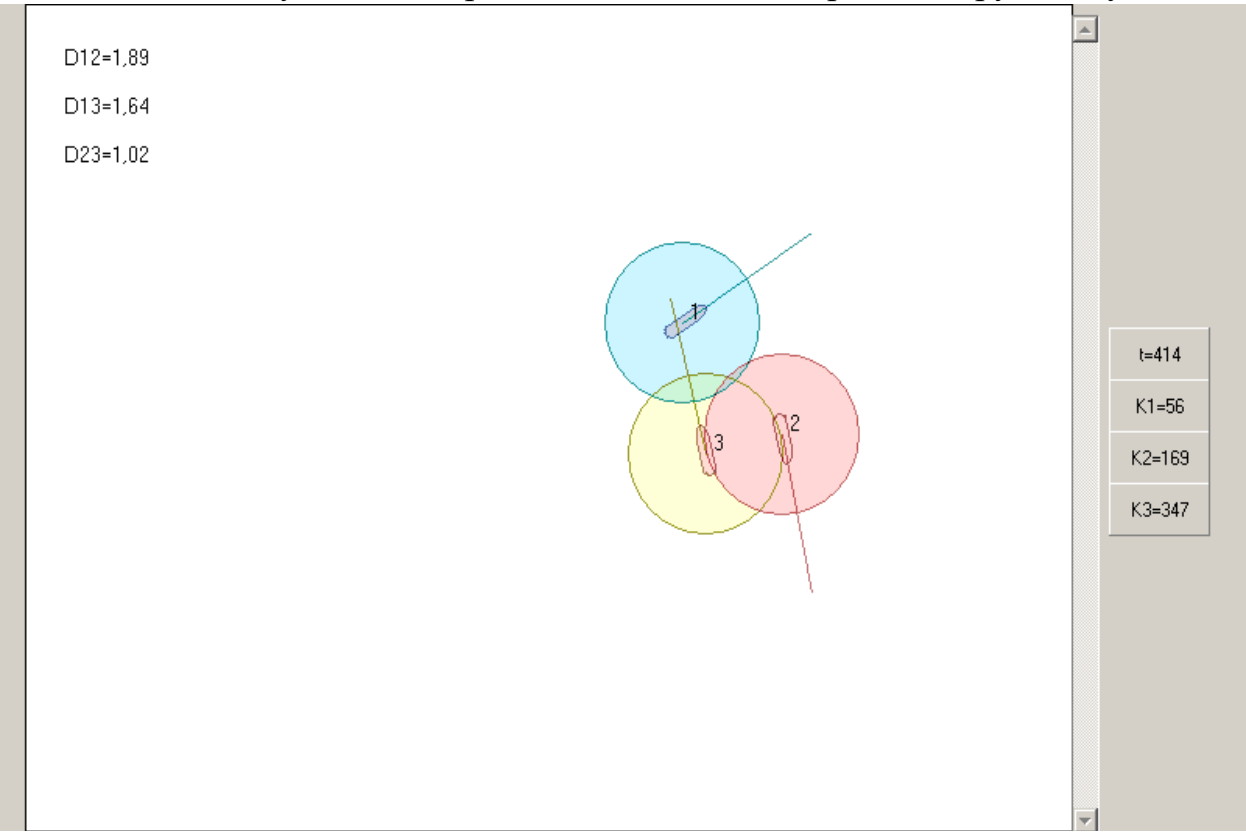

Рис. 5.14. Ситуація найкоротшого зближення другого і третього суден

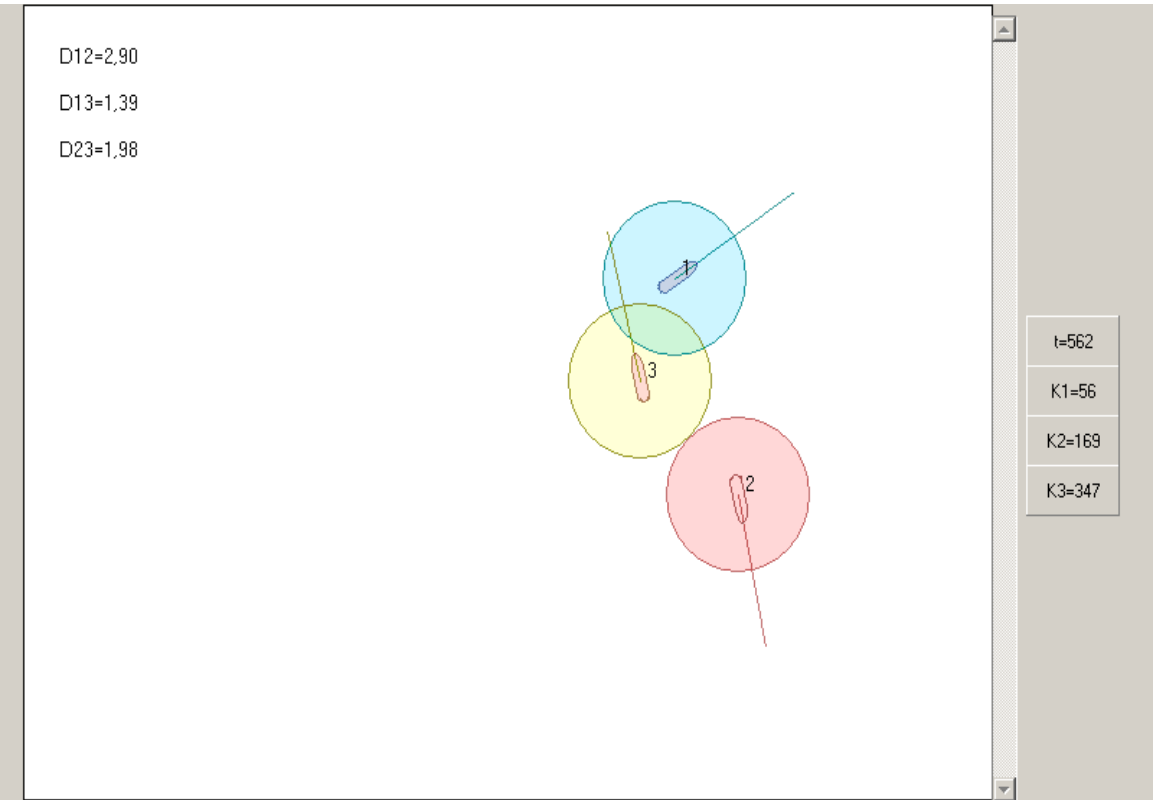

Рис. 5.15. Ситуація найкоротшого зближення першого і третього суден

5.3. Імітаційне моделювання вибору оптимальної стратегії розходження в ситуації небезпечного зближення чотирьох суден.

При небезпечному зближенні чотирьох суден як приклад розглянемо наступну ситуацію, яка представлена на рис. 5.16 і характеризується наступними параметрами:

$K_1 = 90°$, $K_2 = 189°$, $K_3 = 339°$, $K_4 = 287°$, $V_1 = 15$ вуз, $V_2 = 20$ вуз, $V_3 = 25$ вуз, $V_4 = 22$ вуз, $\alpha_{12} = 45°$, $\alpha_{13} = 135°$, $\alpha_{14} = 90°$, $\alpha_{23} = 180°$, $\alpha_{24} = 142°$, $\alpha_{34} = 38°$, $D_{12} = 4$ м, $D_{13} = 4$ м, $D_{14} = 5$ м, $D_{23} = 5{,}64$ м, $D_{24} = 3{,}56$ м, $D_{34} = 3{,}56$ м.

Програмою були розраховані значення курсів ухилення всіх суден, що небезпечно зближуються, які рівні наступним значенням:

$$K_{1y} = 134°, K_{2y} = 231°, K_{3y} = 292°, K_{4y} = 287°.$$

Для безпечної розходження досить зміни курсів перших трьох суден.

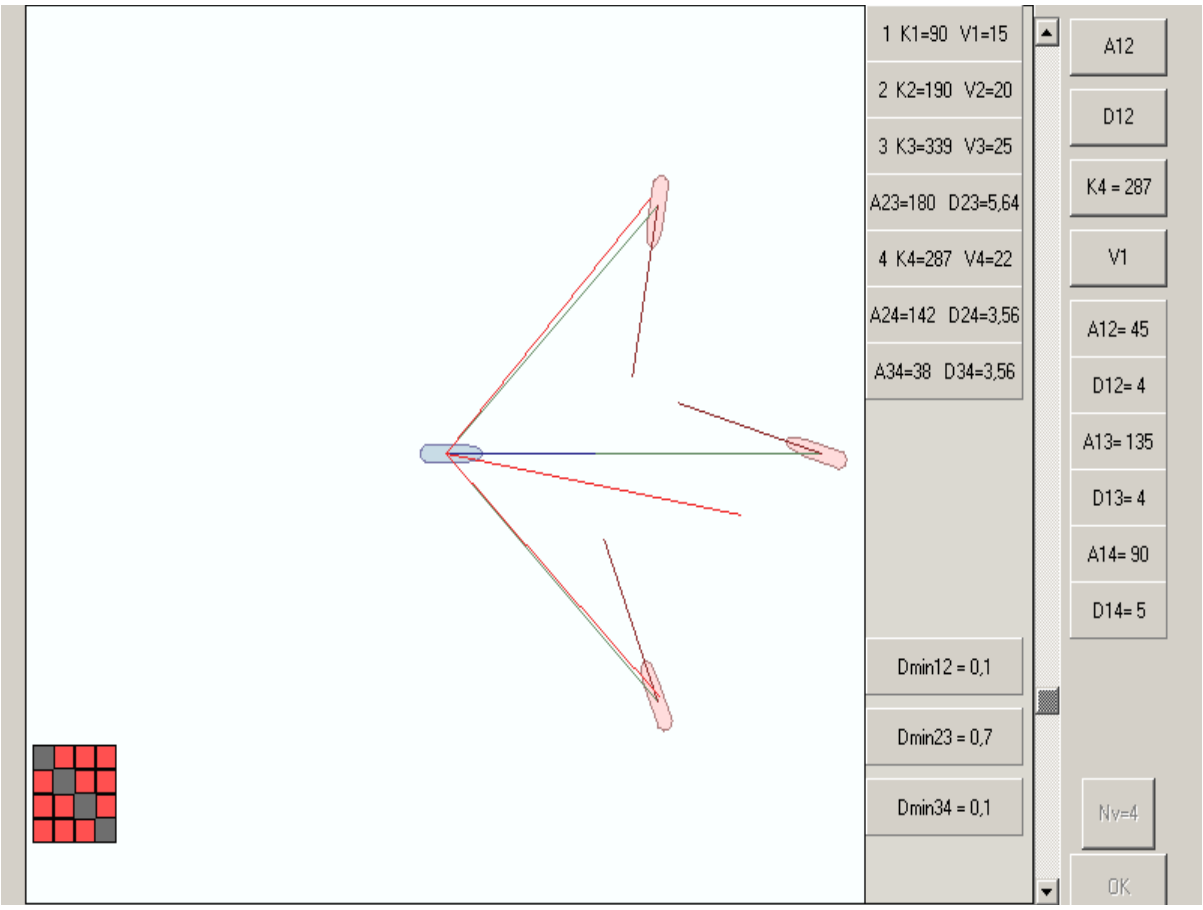

Рис. 5.16. Ситуація небезпечного зближення чотирьох суден

Спочатку розглянемо перший етап перевірки коректності стратегії розходження чотирьох суден. Початкова позиція зближення першого і другого суден, яке є небезпечним, тому що, показана на рис. 5.17.

Як випливає з рис. 5.18, перше і друге судна слідуючи розрахованими курсами ухилення $K_{1y} = 134°$ і $K_{2y} = 231°$, безпечно розходяться на дистанції найкоротшого зближення 2,58 милі. На рис. 5.19 показана область неприпустимих значень курсів суден, з якої підтверджується безпека їх розходження, оскільки крапка, відповідна курсам ухилення суден на перетині вертикальної і горизонтальної ліній знаходиться поза областю.

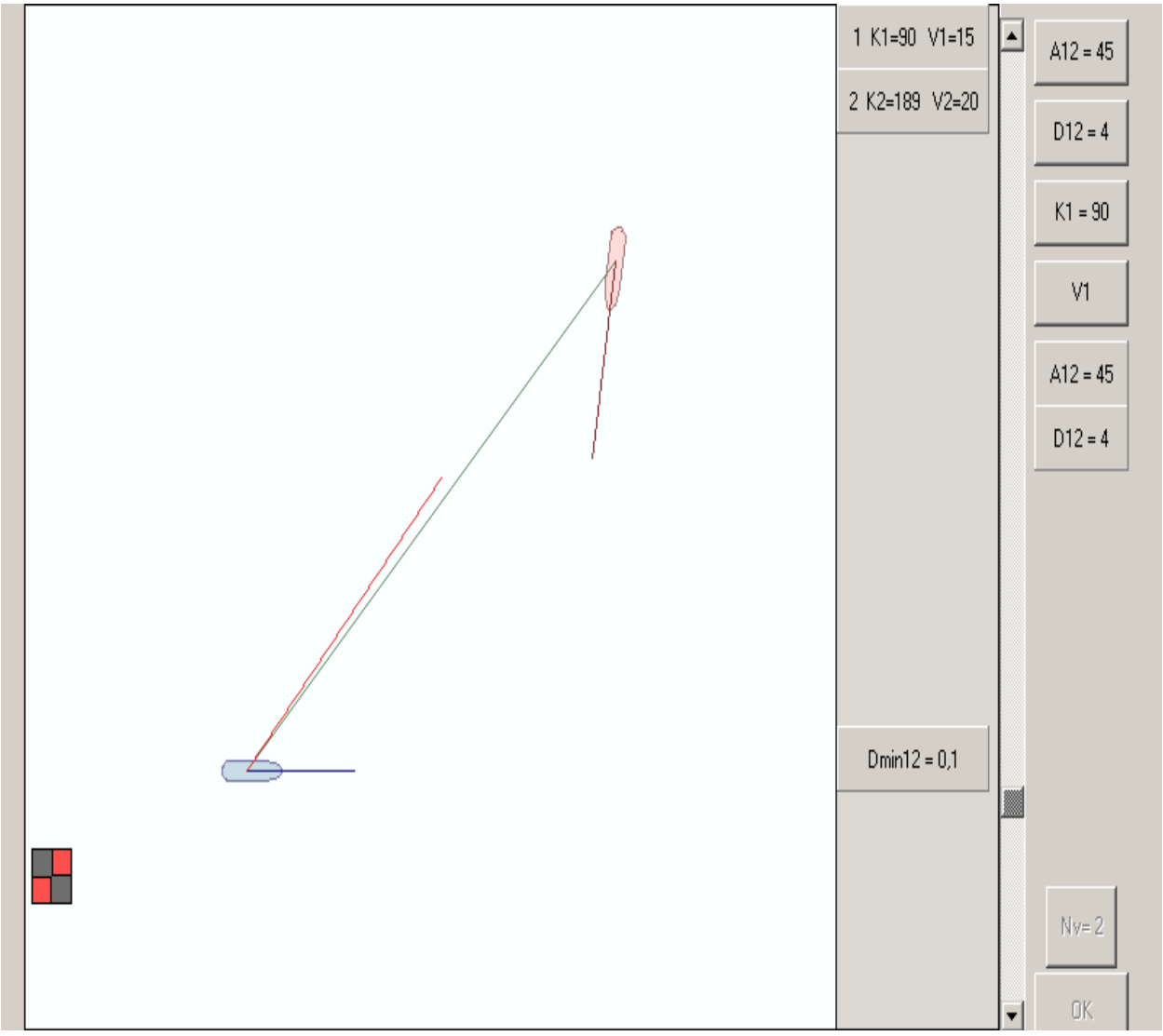

Рис. 5.17. Початкова позиція зближення першого і другого суден

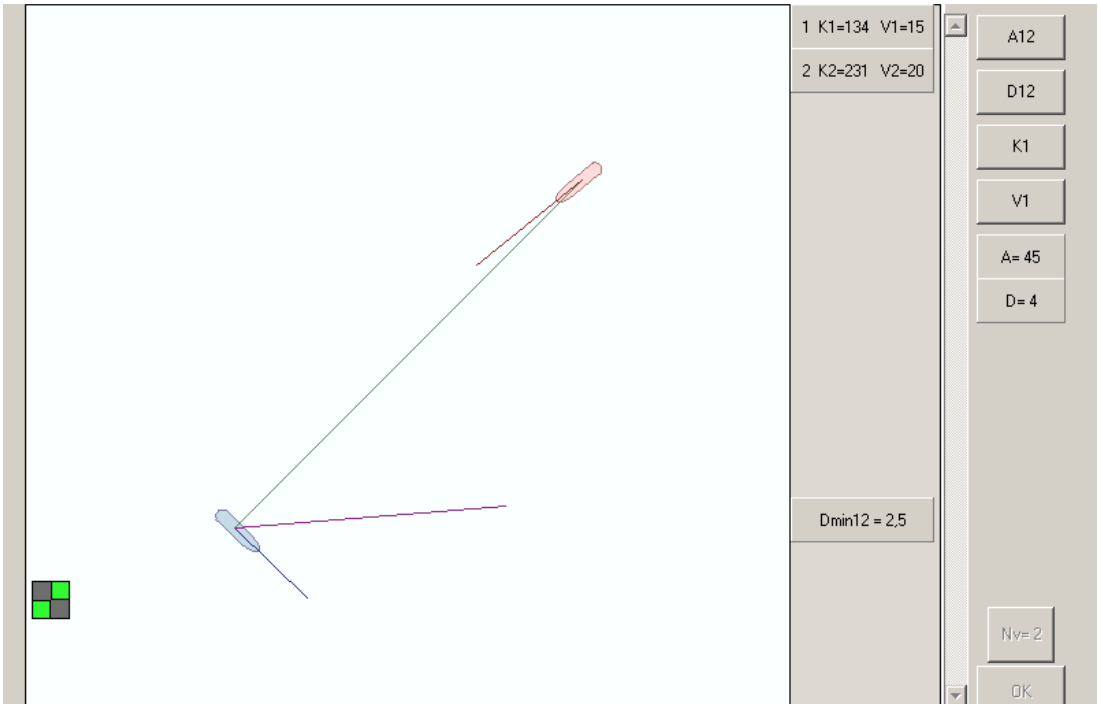

Рис. 5.18. Безпечне розходження першого і другого суден

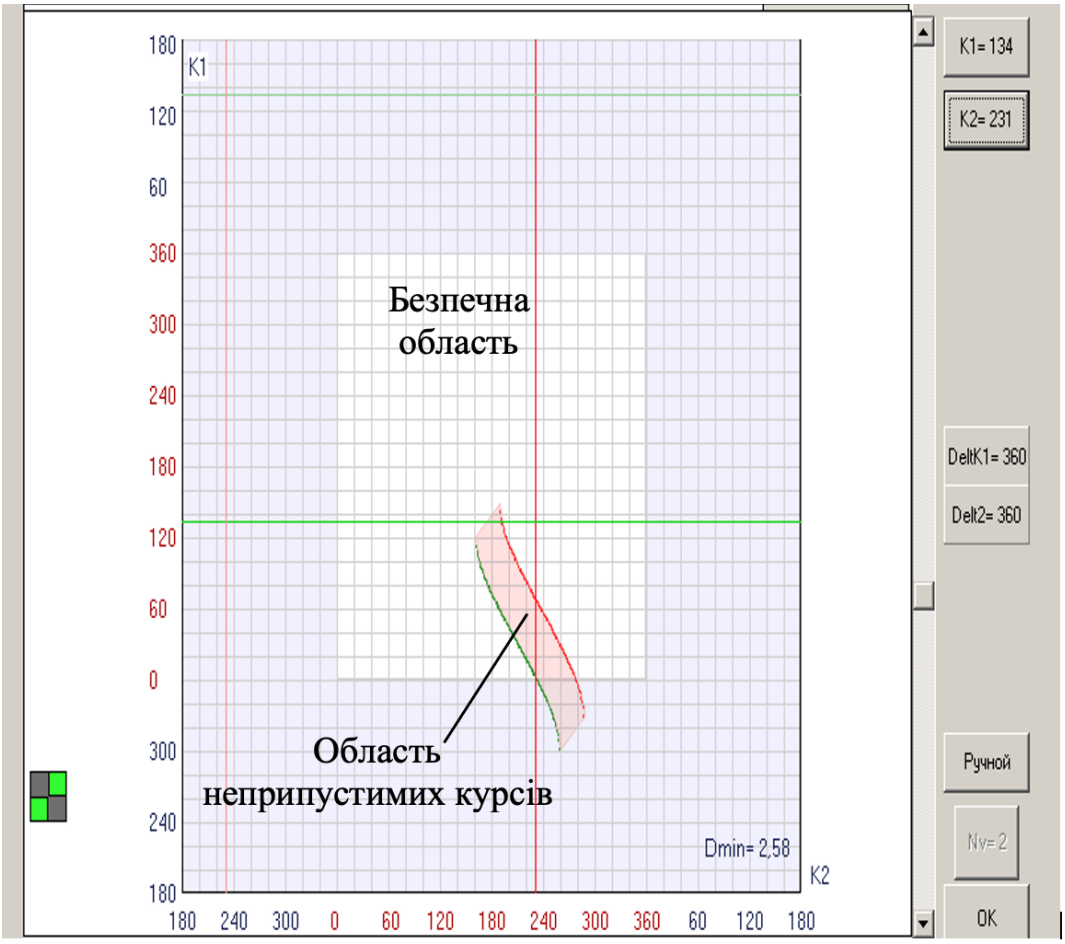

Рис. 5.19. Область неприпустимих значень курсів першого і другого суден

Початкова відносна позиція зближення першого і третього суден показана на рис. 5.20, причому зближення цих суден є небезпечним, тому що дистанція найкоротшого зближення $\min D_{13} = 0{,}0$.

З рис. 5.21 виходить, що перше і третє судна, слідуючи курсами ухилення $K_{1y} = 134°$, $K_{3y} = 292°$, безпечно розходяться, при цьому дистанція найкоротшого зближення рівна 1,02 милі. Безпека розходження першого і третього суден також підтверджується областю неприпустимих значень їх курсів, що показане на рис. 5.22. З малюнка видно, що крапка, відповідна їх курсам ухилення, не належить області, що свідчить про безпеку розходження суден.

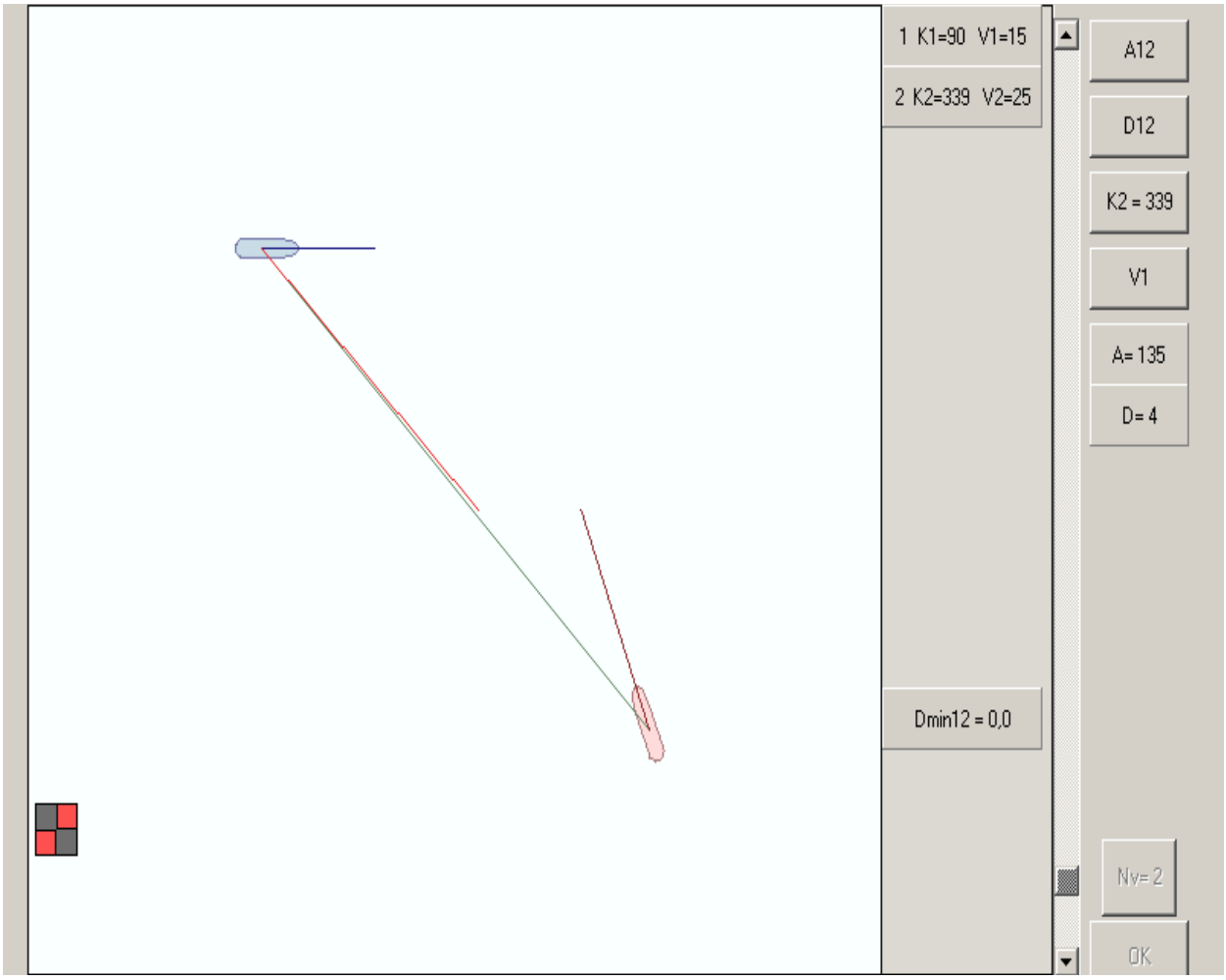

Рис. 5.20. Початкова позиція зближення першого і третього суден

Рис. 5.21. Безпечне розходження першого і третього суден

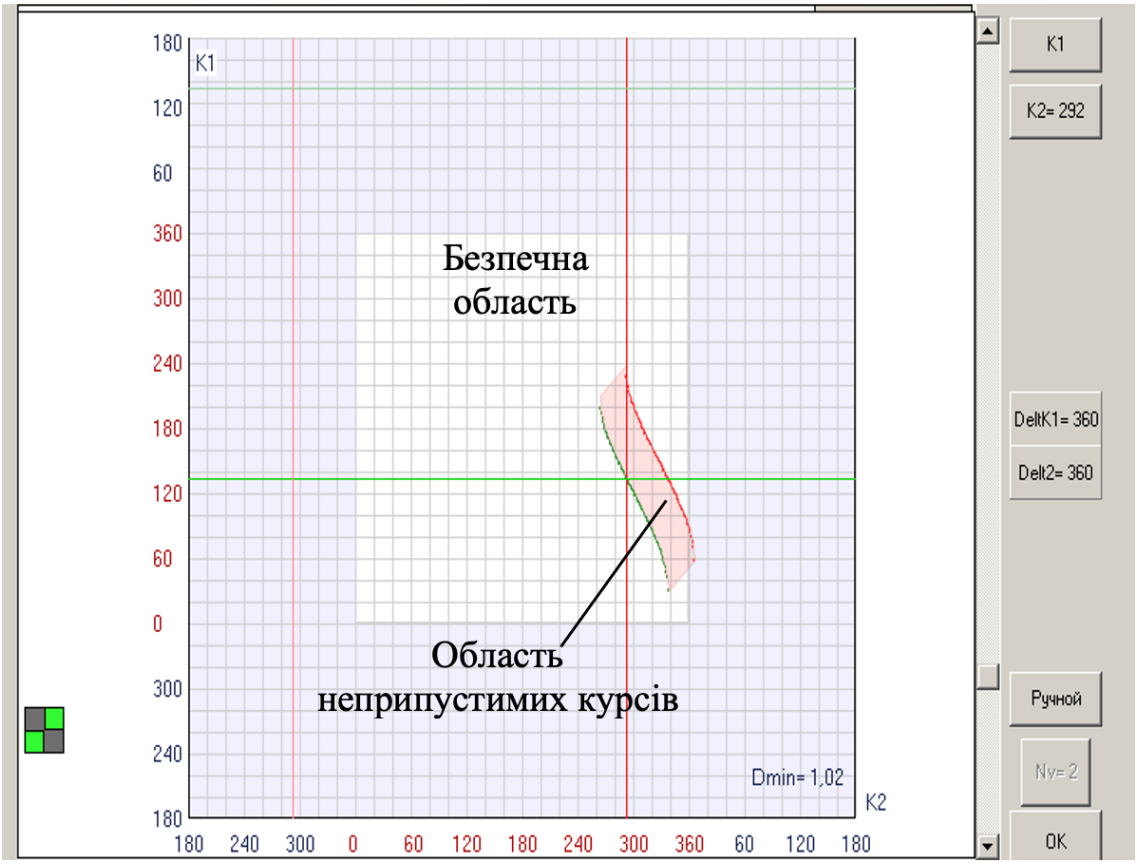

Рис. 5.22. Область неприпустимих значень курсів першого і третього суден

Зближення першого і четвертого суден є небезпечним, оскільки обумовлено їх початковою відносною позицією, яка показана на рис. 5.23, причому дистанція найкоротшого зближення рівна $\min D_{14} = 0{,}8$.

При проходженні курсами ухилення $K_{1y} = 134°$ і $K_{4y} = 287°$, як випливає з рис. 5.24, перше і четверте судна безпечно розходяться на дистанції найкоротшого зближення 2,33 милі.

На рис. 5.25 також підтверджується безпека розходження першого і четвертого суден, оскільки крапка, відповідна курсам ухилення суден, яка знаходиться на перетині вертикальної і горизонтальної ліній курсів їх ухилення, не належить області неприпустимих значень курсів суден, причому дистанція найкоротшого зближення значно перевершує гранично - допустиму дистанцію.

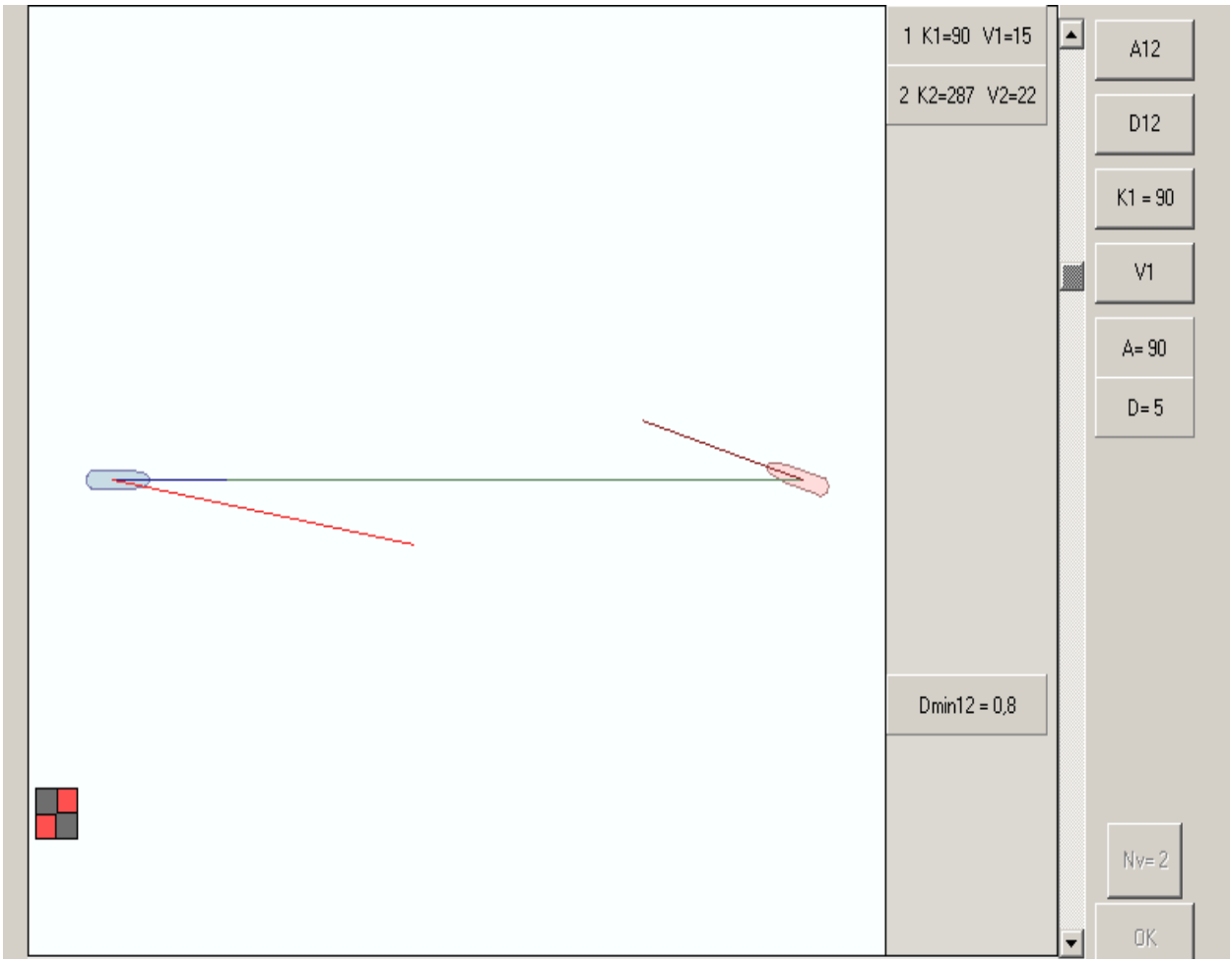

Рис. 5.23. Початкова позиція зближення першого і четвертого суден

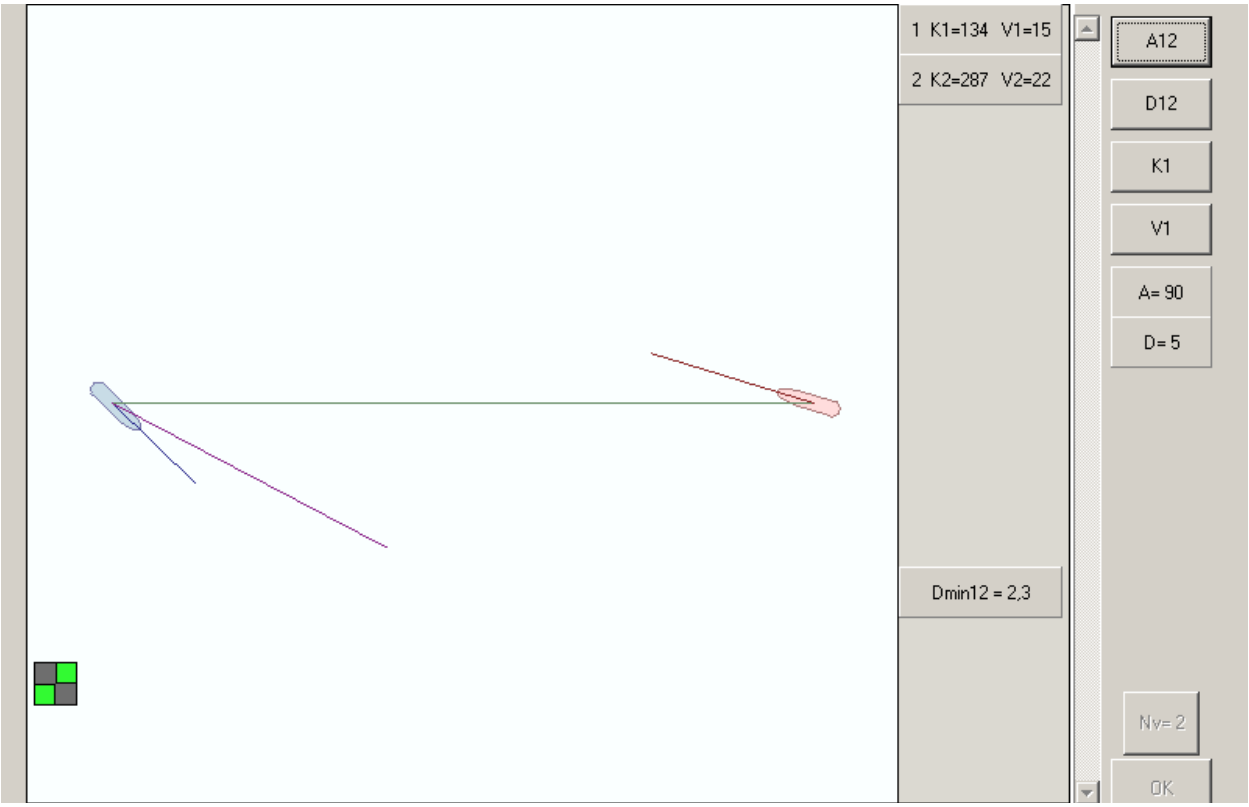

Рис. 5.24. Безпечна розходження першого і четвертого суден

Рис. 5.25. Область неприпустимих значень курсів першого і 4 - го суден

На рис. 5.26 відображене початкове відносне зближення другого і третього суден на дистанцію найкоротшого зближення, яка менше гранично - допустимої дистанції, тому зближення цих суден є небезпечним.

Слідуючи курсами ухилення $K_{2y} = 231°$ і $K_{3y} = 292°$, друге і третє судна, як випливає з рис. 5.27, безпечно розходяться на дистанції найкоротшого зближення рівних 1,64 миль. Також безпека розходження другого і третього суден підтверджується рис. 5.28, на якому показана область неприпустимих значень їх курсів. З малюнка видно, що крапка, яка відповідає їх курсам ухилення, не належить небезпечній області, чим підтверджується безпека розходження другого і третього суден.

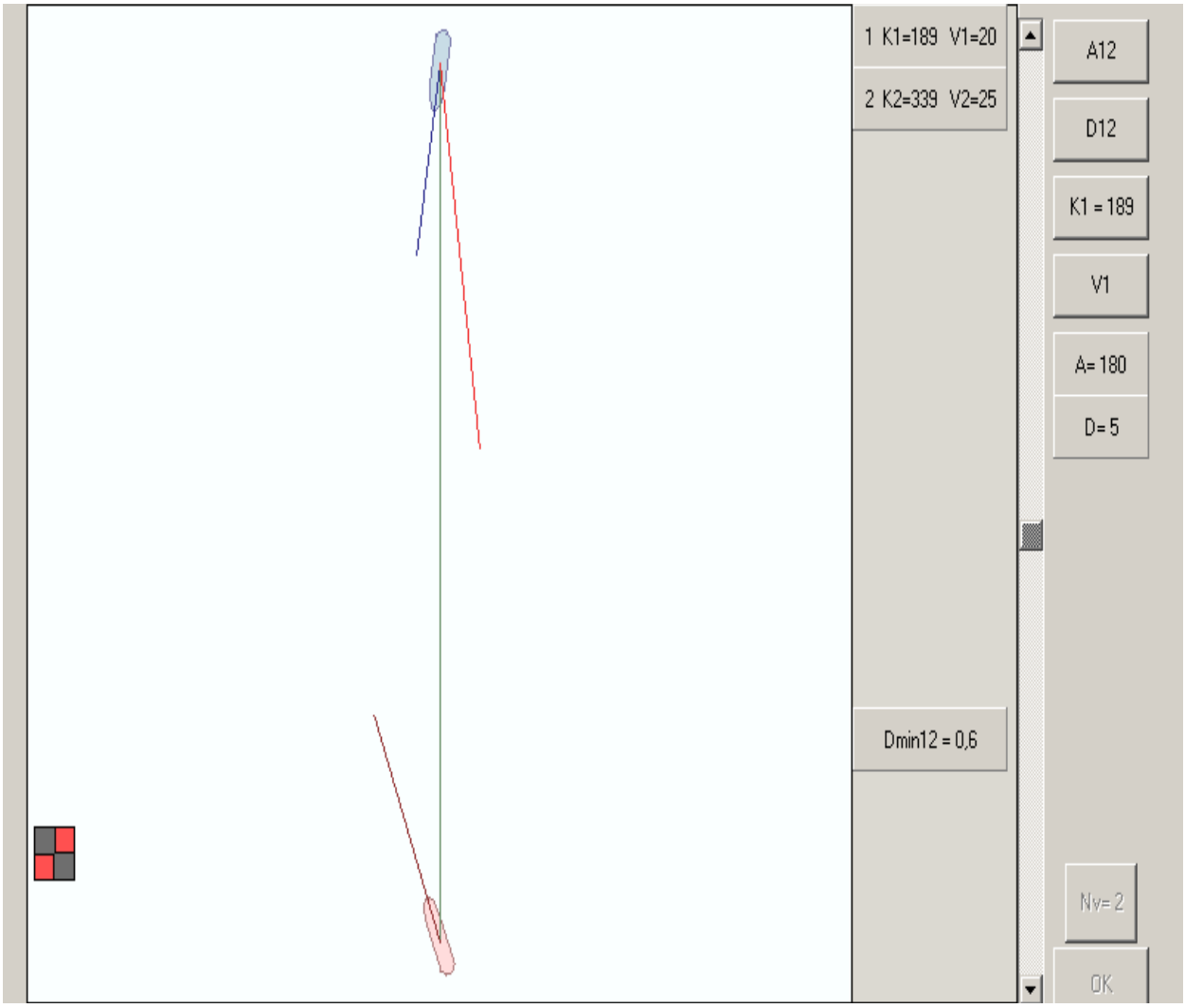

Рис. 5.26. Початкова позиція зближення другого і третього суден

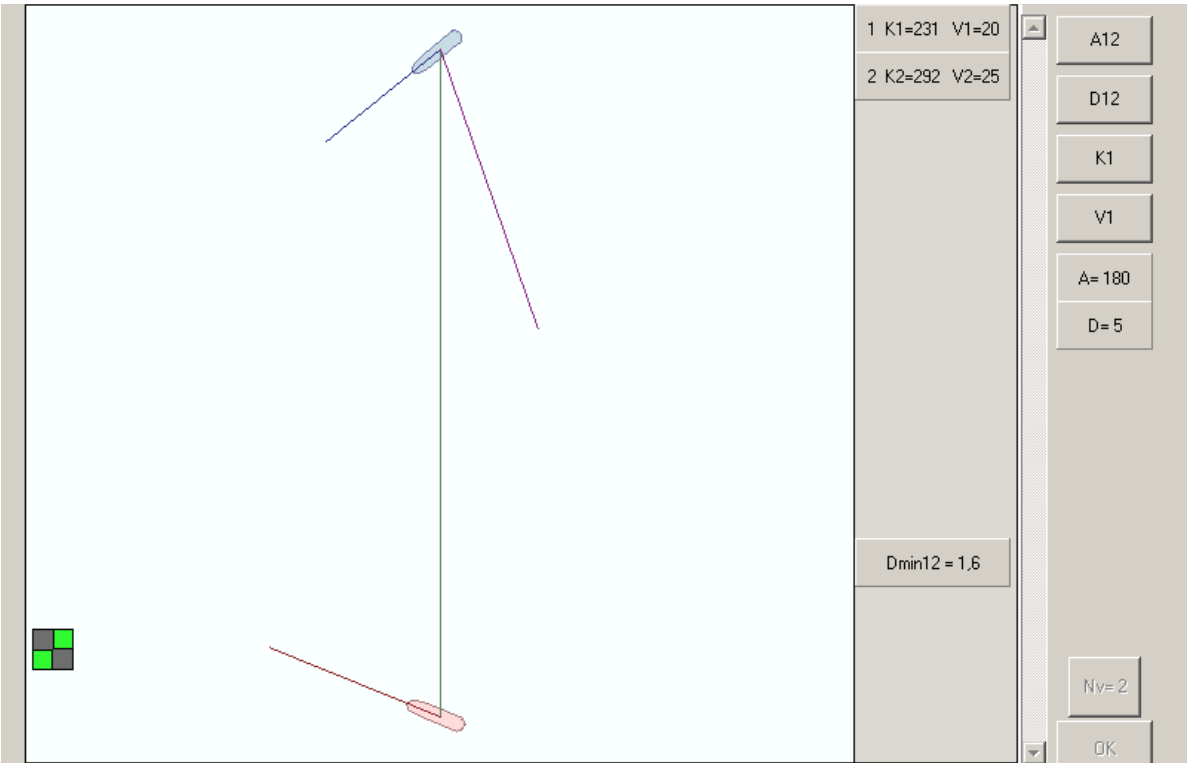

Рис. 5.27. Безпечна розходження другого і третього суден

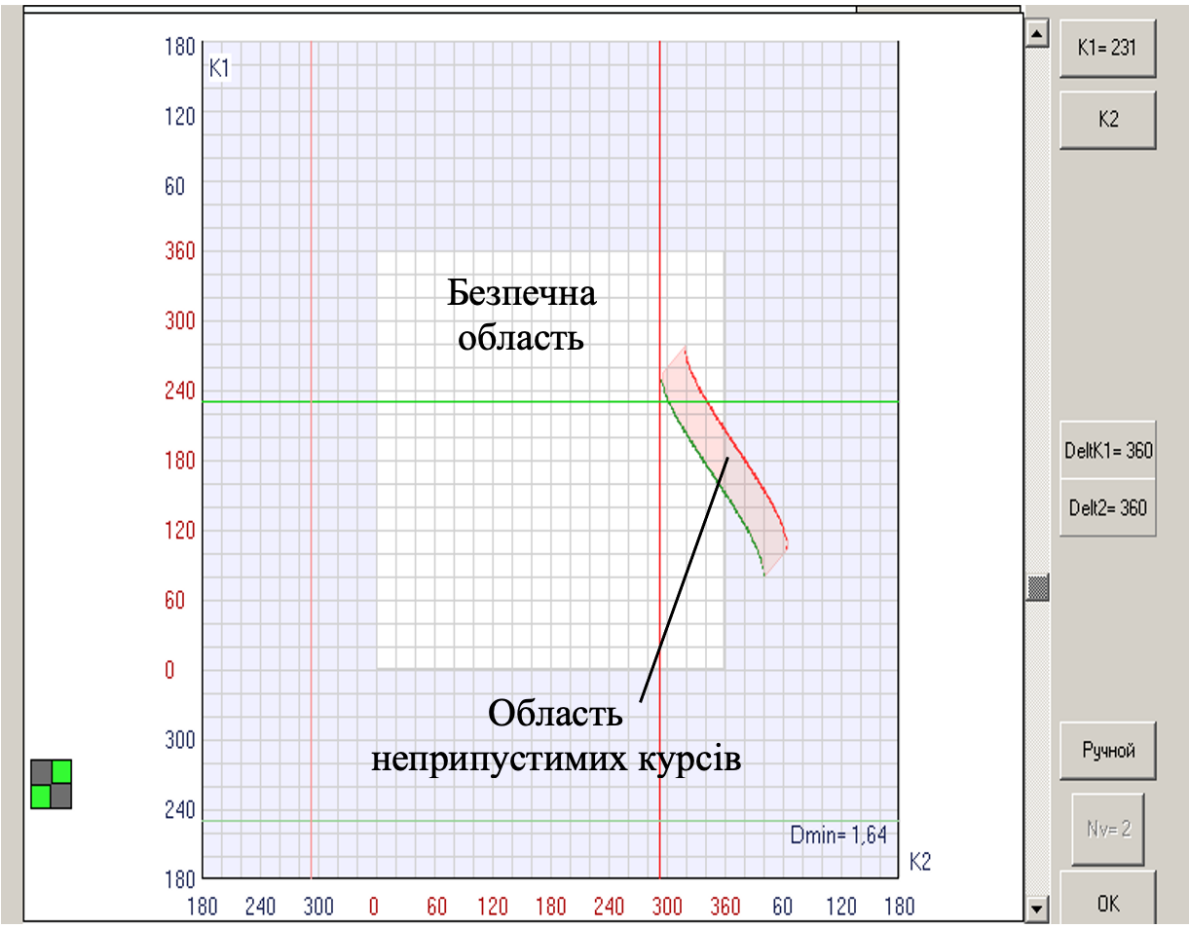

Рис. 5.28. Область неприпустимих значень курсів другого і третього суден

Зближення другого і четвертого суден через їх початкову відносну позицію є небезпечним, як показано на рис. 5.29, причому дистанція найкоротшого зближення рівна $\min D_{24} = 0{,}2$.

При проходженні курсами ухилення $K_{2y} = 231°$ і $K_{4y} = 287°$, як випливає з рис. 5.30, друге і четверте судна безпечно розходяться на дистанції найкоротшого зближення 1,32 милі.

Безпека розходження другого і четвертого суден підтверджується рис. 5.31, на якому показано, що крапка, що відповідна курсам ухилення суден, знаходиться на перетині вертикальної і горизонтальної ліній по значеннях курсів їх ухилення, не знаходиться у області неприпустимих значень курсів суден, причому дистанція найкоротшого зближення перевершує гранично - допустиму дистанцію.

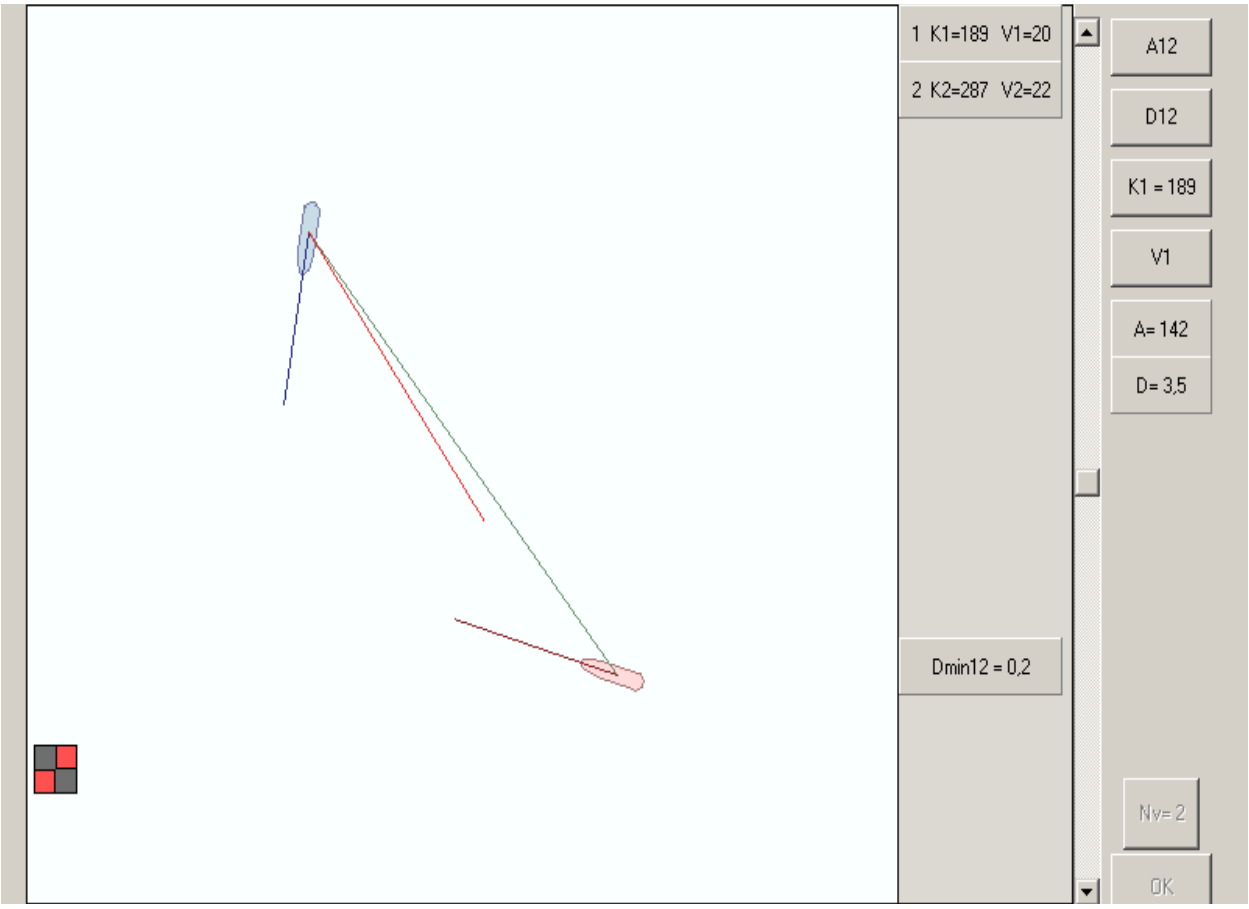

Рис. 5.29. Початкова позиція зближення другого і четвертого суден

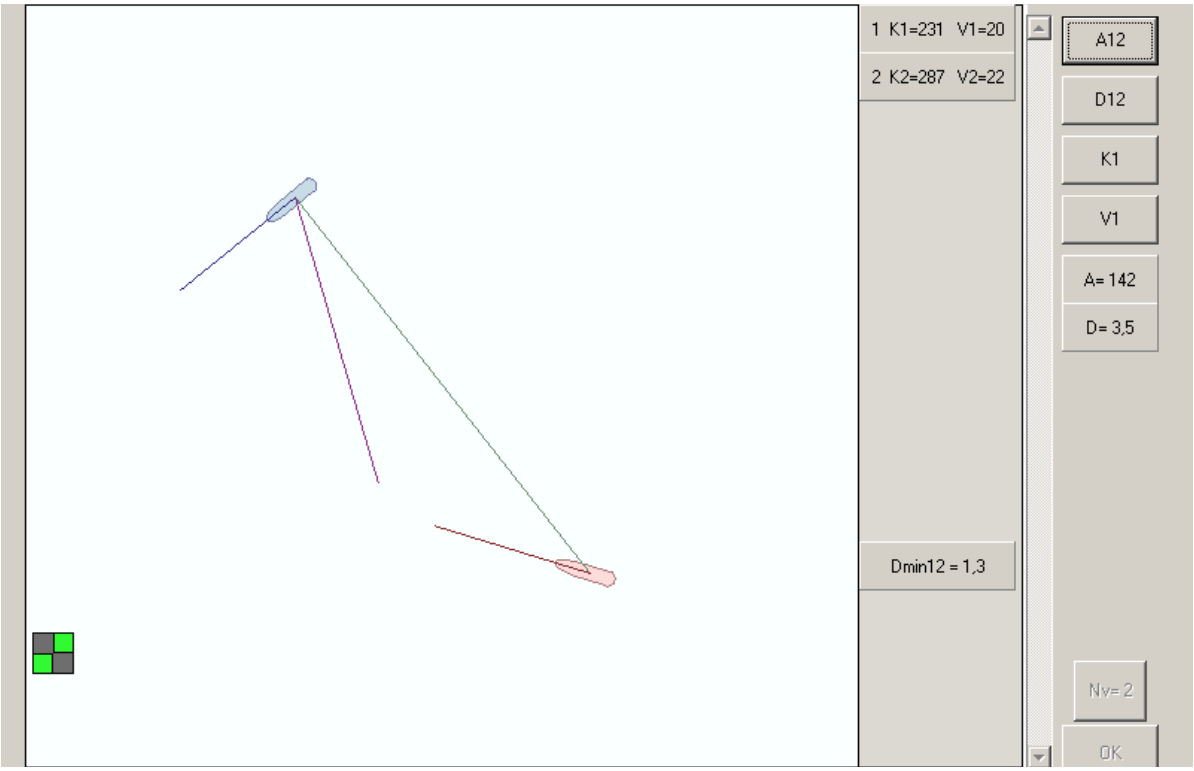

Рис. 5.30. Безпечна розходження другого і четвертого суден

Рис. 5.31. Область неприпустимих значень курсів другого і 4- го суден

Через початкову відносну позицію зближення третього і четвертого суден на дистанцію найкоротшого зближення рівну $\min D_{34} = 0{,}1$ милі є небезпечним, як показано на рис. 5. 32.

Як випливає з рис. 5.33, третє і четверте судна при проходженні курсами ухилення $K_{3y} = 292°$ і $K_{4y} = 287°$, безпечно розходяться на дистанції найкоротшого зближення рівних 3,42 миль.

На рис. 5.34 показано, що крапка, що відповідна курсам ухилення суден, знаходиться на перетині вертикальної і горизонтальної ліній курсів їх ухилення, не належить області неприпустимих значень курсів суден, а дистанція найкоротшого зближення більш ніж в три рази перевершує гранично - допустиму дистанцію, що підтверджує безпеку розходження третього і четвертого суден.

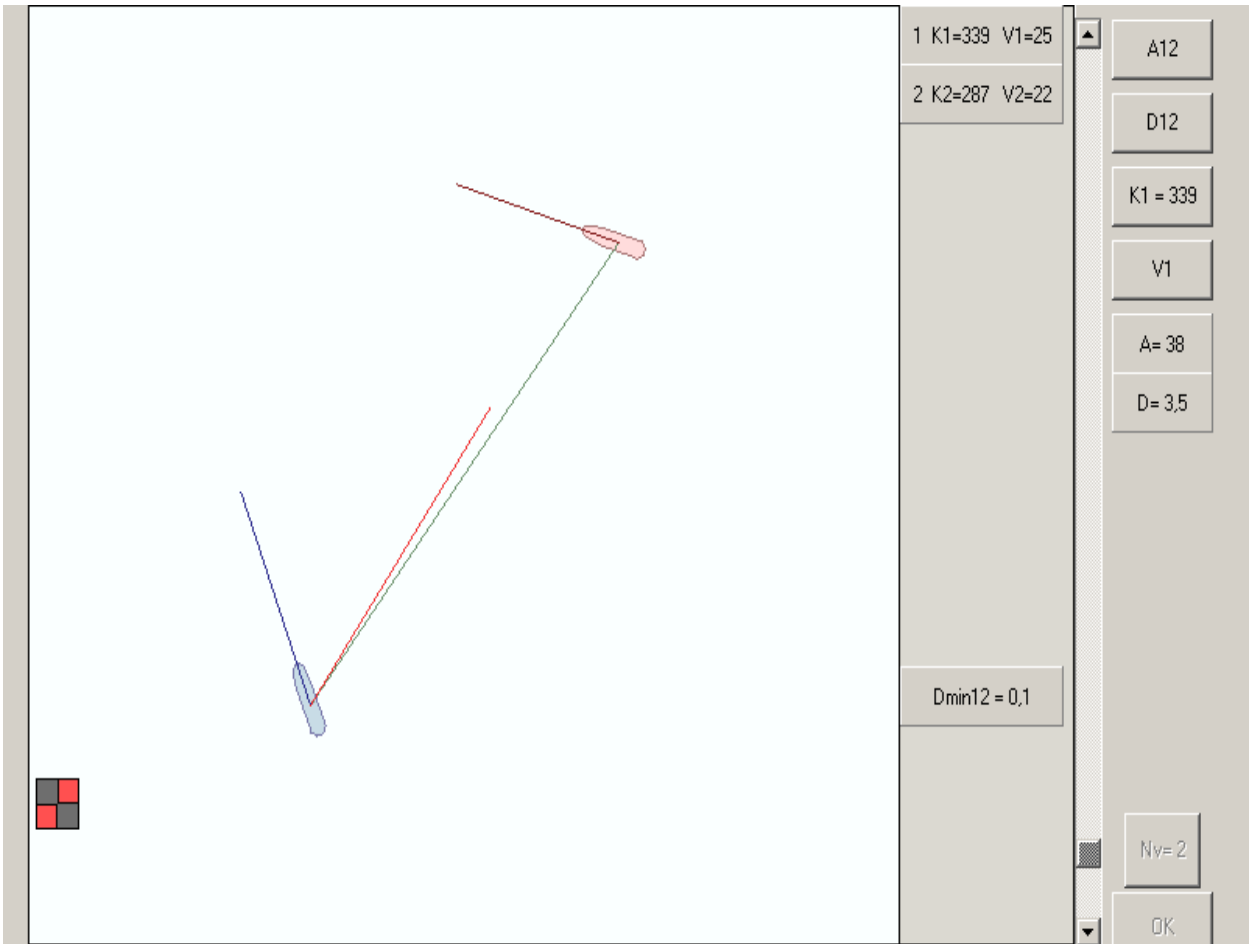

Рис. 5.32. Початкова позиція зближення третього і четвертого суден

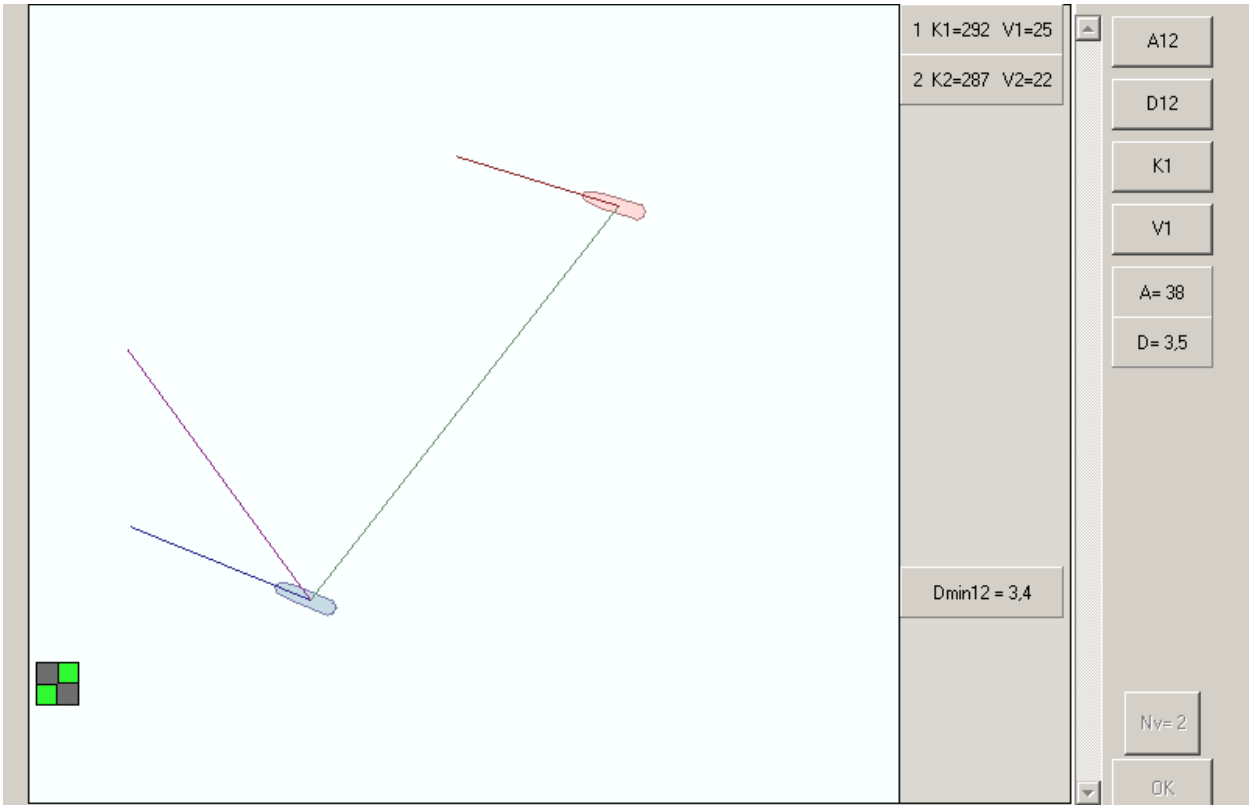

Рис. 5.33. Безпечна розходження третього і четвертого суден

Рис. 5.34. Область неприпустимих значень курсів третього і 4- го суден

Розглянемо другий етап перевірки коректності розрахованої стратегії розходження, а саме імітаційне моделювання процесу розходження чотирьох суден розрахованими курсами ухилення $K_{1y} = 134°$, $K_{2y} = 231°$, $K_{3y} = 292°$, $K_{4y} = 287°$. Початок процесу розходження на шостій секунді показаний на рис. 5.35.

Ситуація найкоротшого зближення першого і третього суден на 353 с процесу розходження відображена на рис. 5.36, причому дистанція найкоротшого зближення складає 1,01 милі, і практично рівна гранично - допустимій дистанції зближення, що свідчить про безпечне розходження суден.

На рис. 5.37 показана ситуація найкоротшого зближення першого і другого суден на дистанцію 2,58 милі, яка наступає на 430 с процесу розходження.

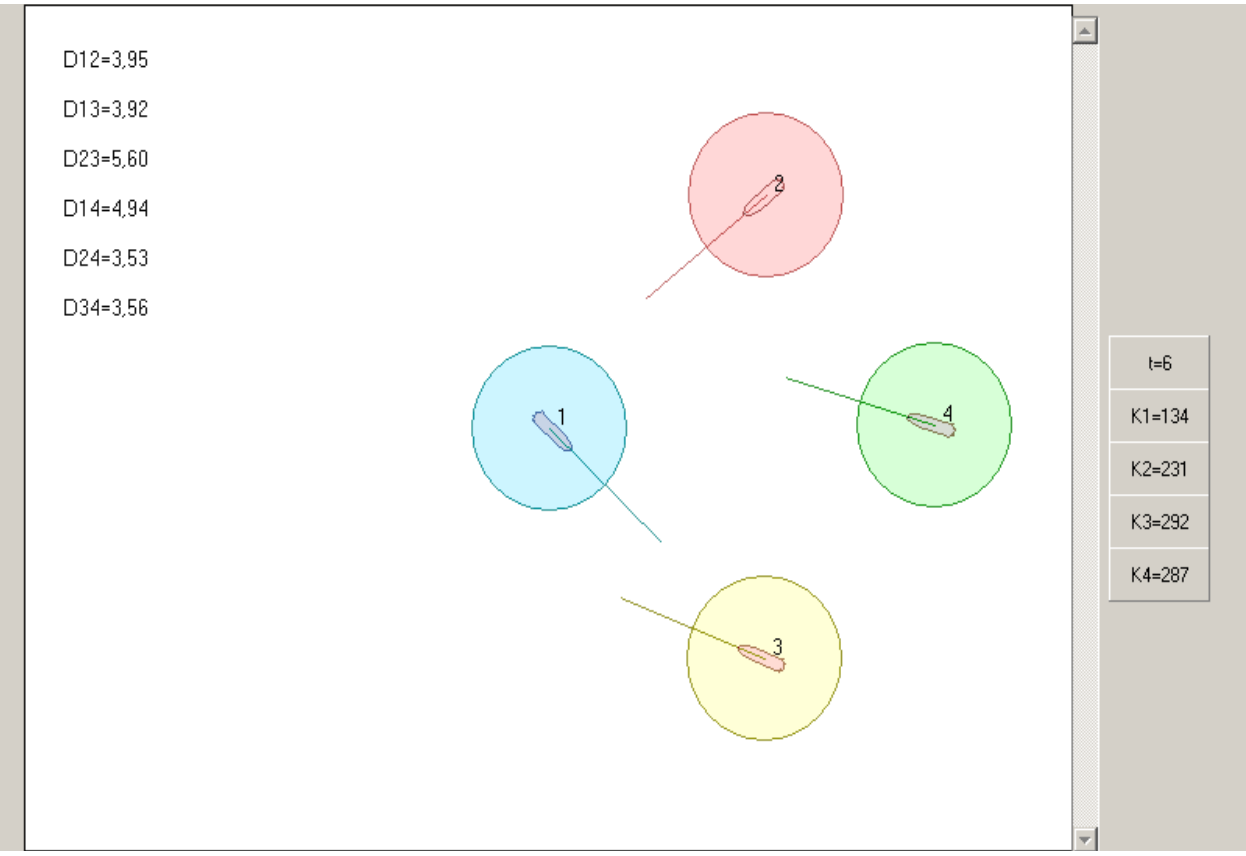

Рис. 5.35. Початок процесу розходження суден

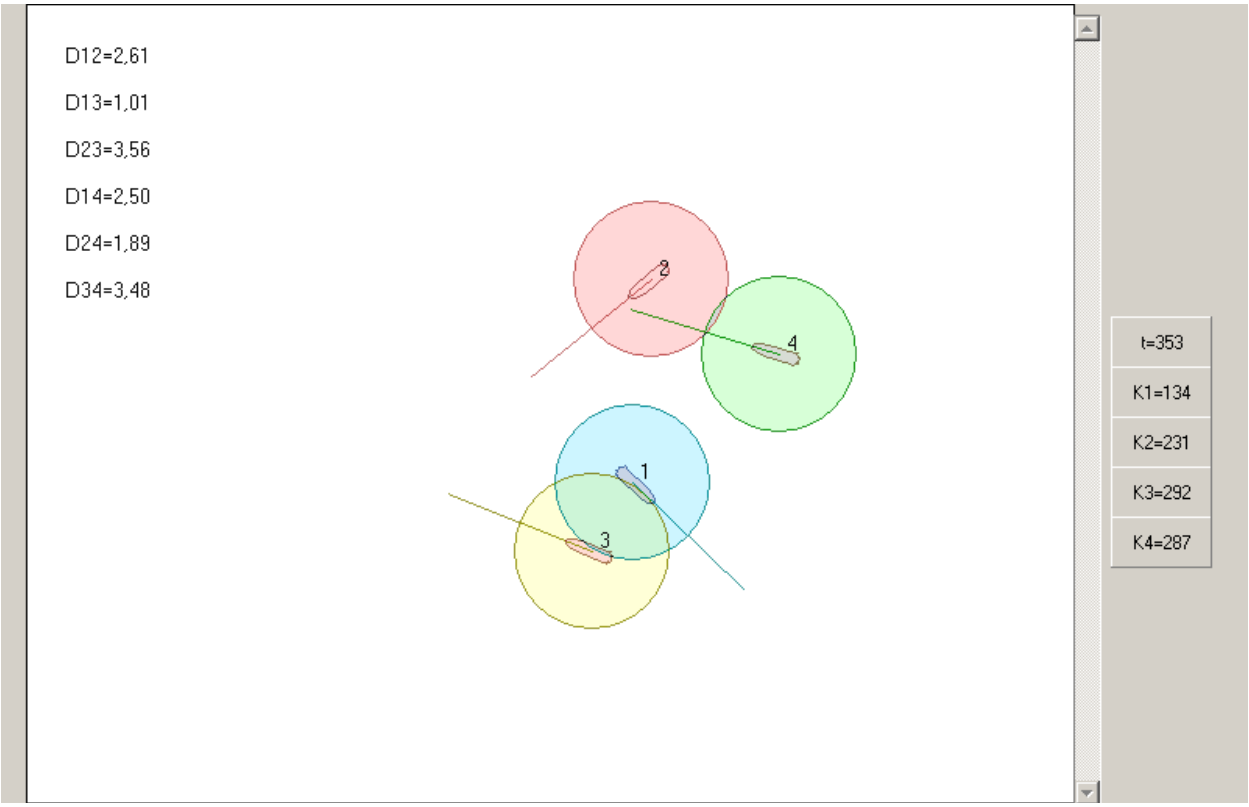

Рис. 5.36. Ситуація найкоротшого зближення першого і третього суден

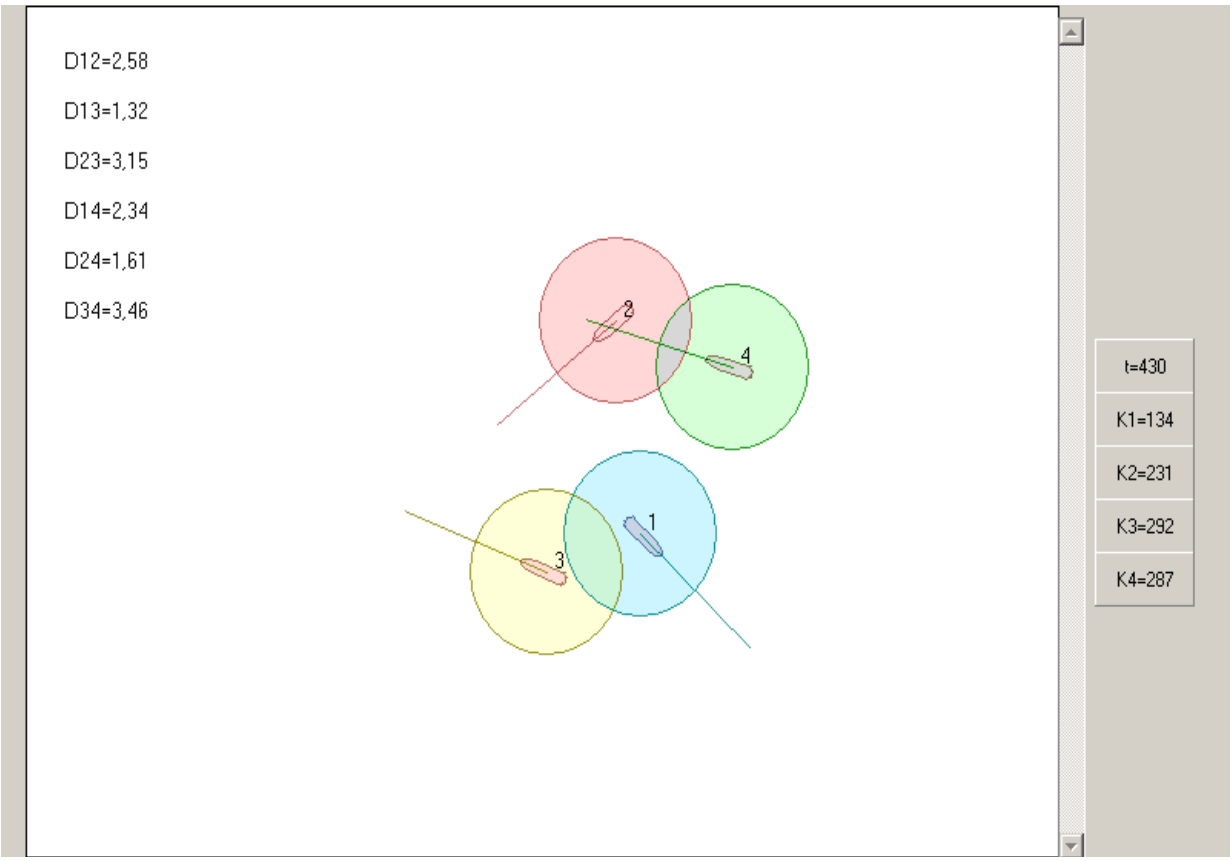

Рис. 5.37. Ситуація найкоротшого зближення першого і другого суден

На 483 с процесу розходження відбувається найкоротше зближення першого і четвертого суден, дистанція якого рівна 2,37 милі. На рис. 5.38 відображена згадана ситуація.

Найкоротше зближення другого і четвертого суден з дистанцією зближення рівних 1,33 миль на 650 с після початку процесу розходження відображено на рис. 5.39, причому дистанція найкоротшого зближення перевершує гранично - допустиму дистанцію зближення, що свідчить про безпечне розходження суден.

На рис. 5.40 показана ситуація найкоротшого зближення другого і третього суден на дистанцію 1,85 милі, яка наступає на 838 с процесу розходження.

Завершення процесу розходження групи з чотирьох суден показане на рис. 5.41, аналіз якого показує, що судна розійшлися в безпечних відстанях, що перевершують гранично - допустиму дистанцію зближення.

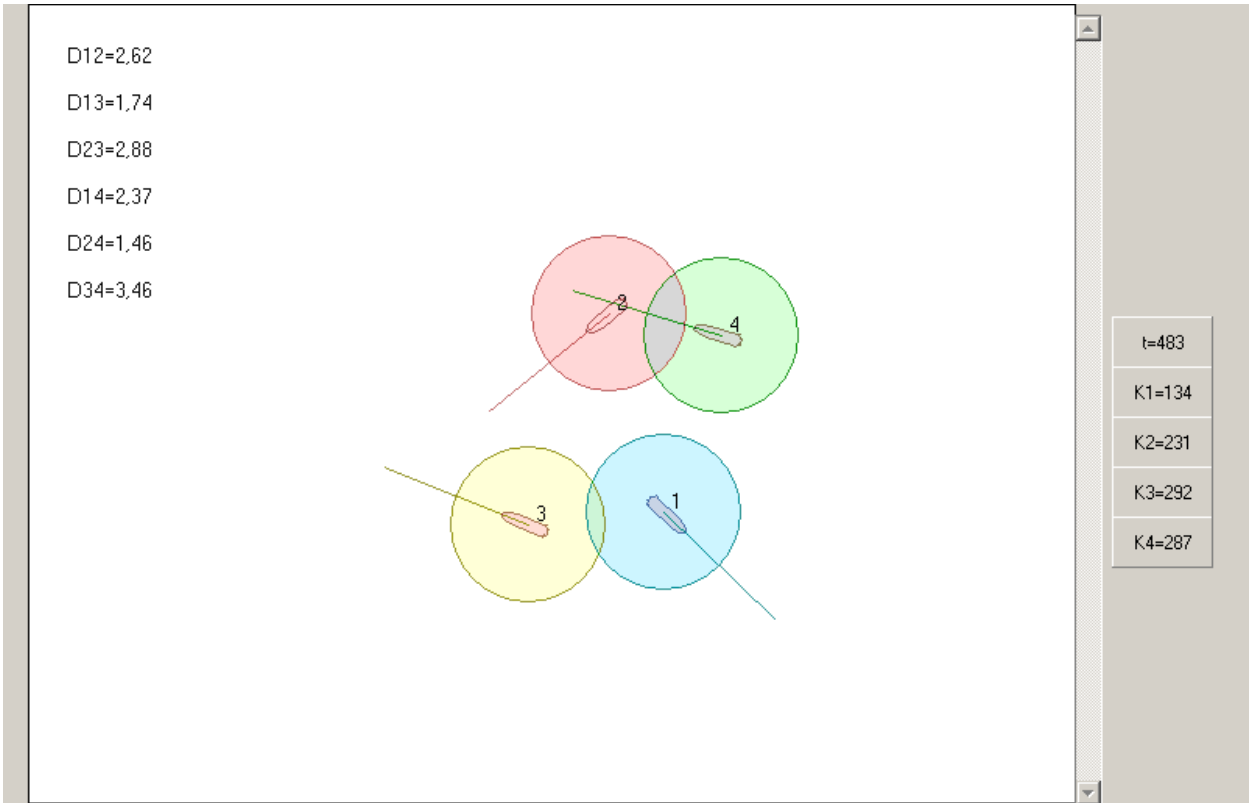

Рис. 5.38. Ситуація найкоротшого зближення першого і четвертого суден

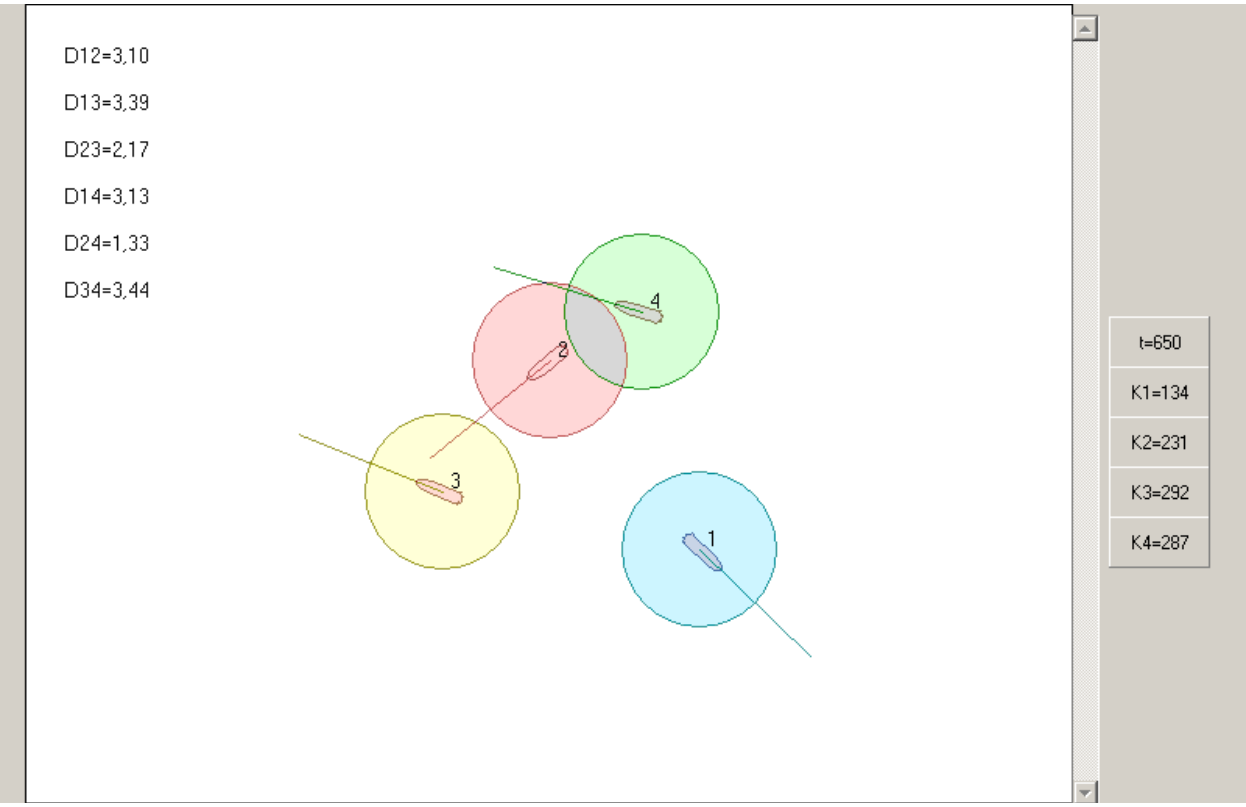

Рис. 5.39. Ситуація найкоротшого зближення другого і четвертого суден

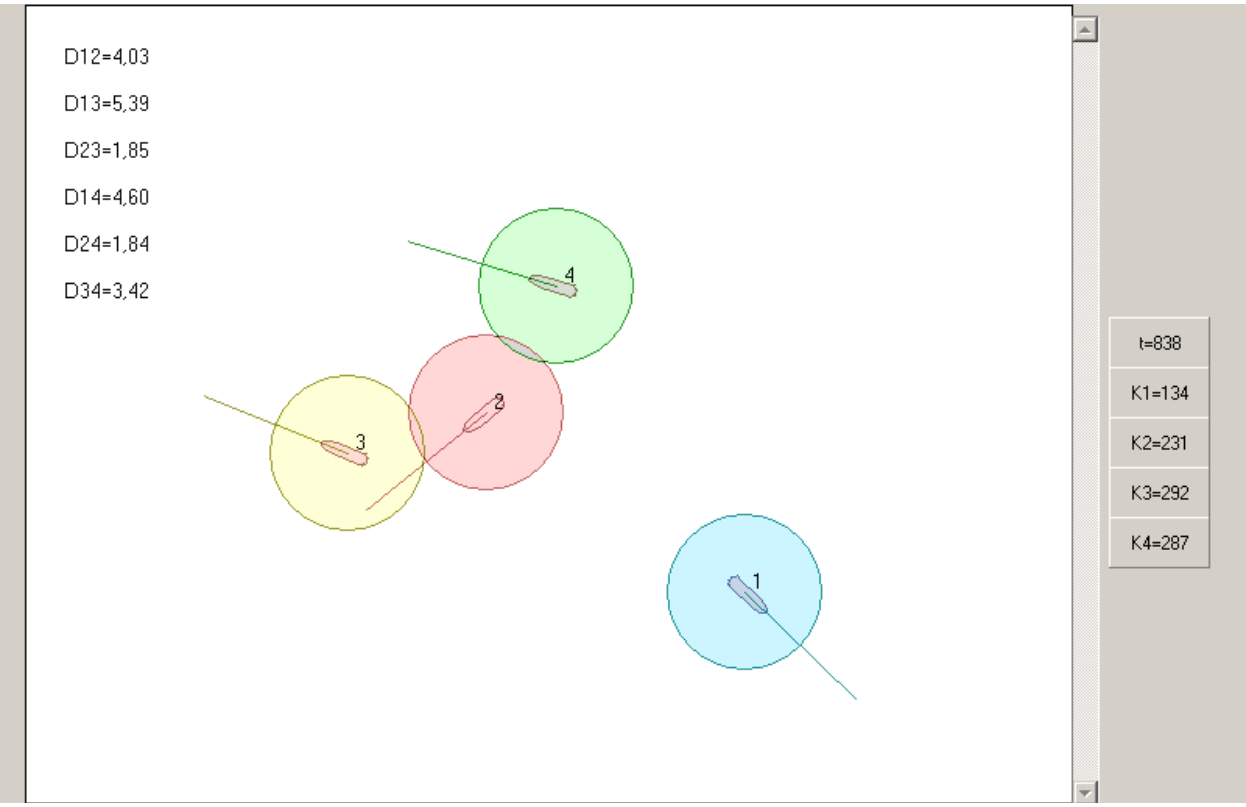

Рис. 5.40. Ситуація найкоротшого зближення другого і третього суден

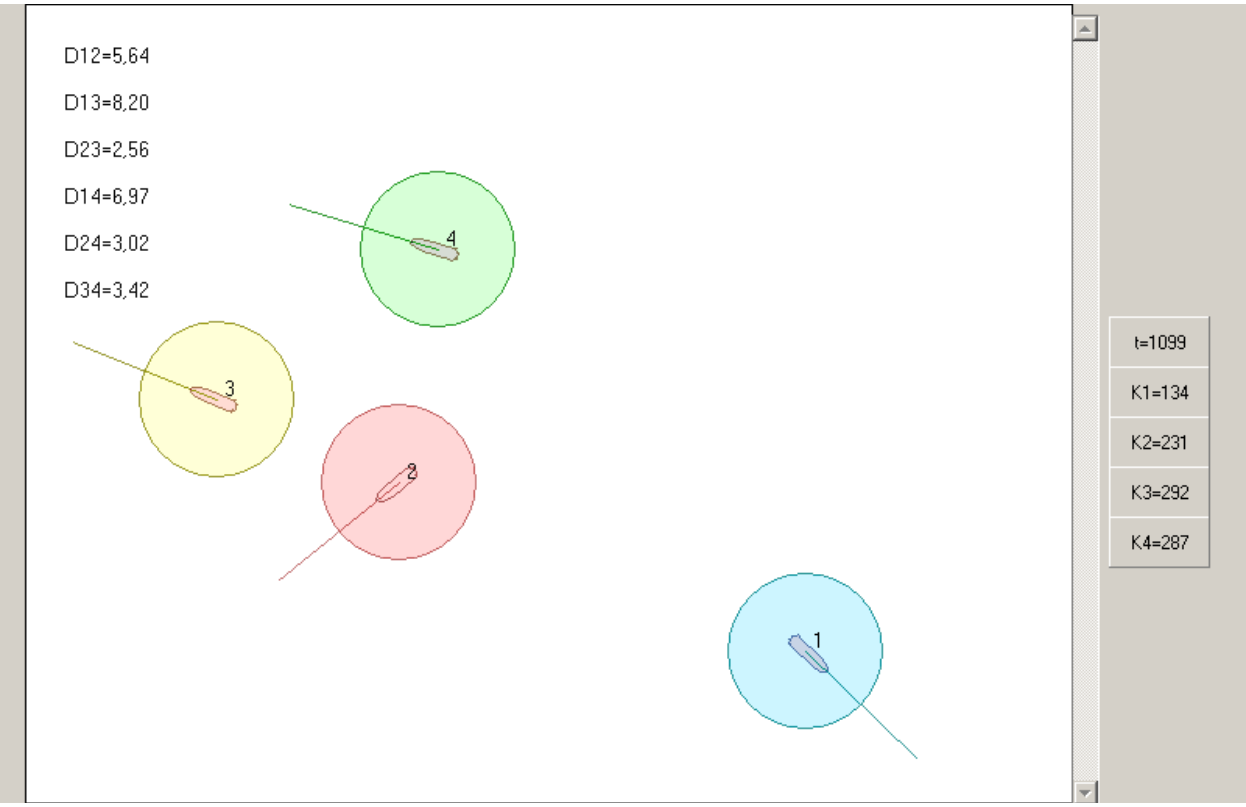

Рис. 5.41. Завершення процесу розходження

5.4. Висновки за п'ятим розділом.

В розділі розроблені алгоритм і процедура визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються, на базі ситуації небезпечного зближення групи, що складається з чотирьох суден. Для вирішення поставленої задачі запропонований спосіб сканування площин парних курсів суден придатний для ситуацій зближення від двох до п'яти суден. Алгоритмом передбачений вибір стратегії розходження зміною курсів мінімальної кількості суден групи, причому значення змін курсів є мінімальними за умови виконання вимог безпечного розходження.

Для ситуації небезпечного зближення декількох суден за допомогою одержаного алгоритму була розроблена імітаційна програма визначення оптимальної стратегії розходження. Програмою передбачене введення параметрів ситуації небезпечного зближення, розрахунок курсів ухилення

суден для безпечної розходження і перевірка її коректності шляхом програвання одержаної стратегії.

В розділі приведені результати імітаційного моделювання визначення параметрів оптимальної стратегії розходження в ситуації небезпечного зближення трьох суден. Для заданої ситуації небезпечного зближення програмою визначені курси безпечного ухилення суден, причому потрібно зміна курсів тільки двох суден. Потім була проведена перевірка коректності розрахованої стратегії розходження в два етапи: по-перше, за допомогою області неприпустимих значень курсів перевірялася безпека розходження кожної пари суден, що зближуються, і, по-друге, проводилося імітаційне моделювання процесу розходження групи суден.

Аналогічно проводилося імітаційне моделювання вибору оптимальної стратегії розходження в ситуації небезпечного зближення чотирьох суден. Результати імітаційного моделювання підтвердили коректність пропонованого методу визначення параметрів стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

ВИСНОВКИ

1. Оцінка стану питання. Плавання морських суден в стислих водах ускладнюються інтенсивне судноплавство та навігаційні небезпеки, які сприяють появі аварійних ситуацій та характеризуються швидкоплинними змінами. Вказана особливість плавання в стислих водах потребує розробки сучасних методів оцінки ситуації зближення та вибору маневру розходження, чого можна досягти використанням комп'ютерних інформаційних технологій. Тому розробка сучасних засобів оперативного управління процесом розходження суден з урахуванням їх ефективності, чому присвячена дана дисертаційна робота, є актуальним науковим напрямом.

2. Формулювання вирішеної наукової задачі, її значення для науки і практики. В результаті вирішення головної наукової задачі дисертаційного дослідження отримано новий метод визначення параметрів стратегії розходження суден, що має комп'ютерну реалізацію і відрізняється застосуванням принципу зовнішнього управління розходженням незалежно від наявності СУРС та використанням способу автоматичного сканування для визначення оптимальних курсів ухилення.

В результаті рішення головної задачі дослідження отримано наукові рішення, що мають наукову новизну:

− вперше розроблено спосіб оцінки ефективності аналітичних систем попередження зіткнень суден;

− вперше запропоновано процедуру визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення;

− одержав подальший розвиток метод визначення стратегії розходження групи суден, що небезпечно зближуються.

Практична значимість роботи полягає в можливості використання його результатів розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для розходження судна в ситуаціях небезпечного зближення.

3. Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Основні результати, отримані в дисертації, як теоретичного, так і практичного спрямування, можуть бути використані в процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісним показником результатів дисертаційної роботи є можливість оперативного вибору маневру розходження групи суден за допомогою розробленого методу, який відзначається високою ефективністю.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів.

Обґрунтована розробка математичних моделей та проведене імітаційне моделювання за допомогою розроблених комп'ютерних програм підтверджують достовірність отриманих результатів дисертації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Weng Yue-zong. Analysis of dangers for marine navigation near the port Xiamen / Weng Yue-zong. Zhongguo hanghai. // Navig. China.- 2003. - № 3/ - P. 48-50.

2. Degre T. Importance d'une approche de la securite maritime fondee sur les modeles devaluation des risques / Degre T., Glansdorp C. C, Van der Так C. // Navigation (France). - 2003. - 51, № 201/ - P. 59-77.

3. Nagasawa A. Quantitative assessment of marine traffic environment by using the maneuvering space concept / Nagasawa A. // Ninon kokai gakkai ronbunshu - J. Jap. Inst. Navig. - 1998. - P. 93-101.

4. Безопасность водного транспорта: Труды Международной научно–практической конференции, посвященной 300-летию Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург,10-12 сент. 2003. Т. 4 Смирнов Н. Г. и др. (ред.). - СПб: Изд-во СПГУВК. – 2003. - 253 с.

5. Vergesst die Sicherheit nicht // Schiffahrt Int. - 2001. - 52, № 4. - P. 12-13.

6. Алексишин В. Г. Перспективы разработки навигационных систем обращенного типа / Алексишин В. Г., Бузовский Д.В. // Судовождение. – 2005. - № 9. – С. 3 – 6.

7. Алексишин В. Г. Общий алгоритм формирования оптимальной системы навигационного оборудования стесненного района / Алексишин В. Г. // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 3 -11.

8. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Мельник Е.Ф. // Судовождение. - 2002. – № 5. – С. 65 – 73.

9. Широков В. М. Определение места судна в стесненных условиях / Широков В. М. // Судовождение. – 2002. – № 5. – С. 119 – 125.

10. Широков В. М. Распределение погрешностей обсервации при использовании методов корреляционной навигации /Широков В. М.// Судовождение. - 2003. - № 6.- С. 154-158.

11. Широков В. М. Результаты имитационного моделирования обсерваций судна в стесненных условиях / Широков В. М. // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 103 – 107.

12. Kubo Masayoshi. Safety evaluation of ship entering a harbour under severe wave conditions / Kubo Masayoshi, Mizui Shinji, Inoue Kazuhiro. // The Proceedings of the Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle. May 28-June 2, 2000. Vol. 4. Cupertino (Calif): Int. Soc. Offshore and Polar Eng. – 2000. - P. 330 - 336.

13. Ракитин В. Д. Методика подготовки библиотеки маршрутов для использования на ВВП дифференциальных подсистем ГЛОНАСС/GPS / Ракитин В. Д., Вуполов А. Г. // Управление и информационные технологии на транспорте: Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Транском – 99», Санкт-Петербург, 1999. - СПб: Изд-во СПбГУВК. - 1999. - С. 98-100.

14. Кондрашихин В.Т. Зависимость между точностью и надежностью навигации / Кондрашихин В.Т. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1973. – Вып. 173. – С. 41-49.

15. Кондрашихин В.Т. Определение наиболее вероятного значения повторяющейся ошибки / Кондрашихин В.Т., Якшевич Е.В. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1972. – Вып. 157. – С. 42-49.

16. Кондрашихин В.Т. О погрешностях измерений/ Кондрашихин В.Т. // Геодезия и картография. – 1977. – № 5. – С. 11-16.

17. Иванов Б. Е. О влиянии неопределенности положения кромок фарватера на вероятность навигационной безопасности плавания / Иванов Б. Е., Батуев А. Н. // Навигация и гидрогр. 2004, № 19, с. 35-40.

18. Ракитин В. Д. Концептуальные положения стратегии использования системы ГЛОНАСС в интересах потребителей речного флота, включая

дифференциальный режим / Ракитин В. Д., Сикарев А. А. // Управление и информационные технологии на транспорте: Тезисы докладов международной научно–технической конференции «Транском – 99». Санкт-Петербург, 1999. - СПб: Изд-во СПбГУВК. – 1999. - С. 24-26.

19. Pettersen Kristin Y. Underactuated dynamic positioning of a ship - experimental results / Pettersen Kristin Y., Fossen Thor I. // IEEE Trans. Contr. Syst. Technol. - 2000. - 8, № 5. - P. 856-863.

20. Жидков Э. М. Анализ и обоснование требований к точности судовождения / Жидков Э. М., Павликов С. Н., Верещагин С. А. // Науч. тр. Дальневост. гос. техн. рыбохоз. ун-т. – 2000. - № 13. - С. 197-208.

21. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1989. - 230с.

22. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана / Сорокин А.И. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – 287 с.

23. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. – Vol. 32.- № 3. – P. 426 - 429.

24. Комаровский Ю. А. Проблемы оценки точности определения места судна приёмниками СРНС Навстар GPS / Комаровский Ю. А. // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. 2006, № 2, С. 100 - 107.

25. Астайкин Д.В. Смешанные законы распределения вероятностей случайных погрешностей навигационных измерений/ Астайкин Д.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 24. – Одесса: «ИздатИнформ», 2014 - С. 7-14.

26. Бурмака И.А. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных измерениях / Бурмака И.А., Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург. – 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9 - 13.

27. Астайкин Д.В. Аналитическое выражение функции распределения случайных величин смешанных законов/ Астайкин Д.В. // Водный транспорт. – 2014. №2 (20). – С. 6 – 11.

28. Астайкин Д.В. Оценка точности позиции судна при наличии случайных погрешностей навигационных измерений / Астайкин Д.В. // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014. № 4 – С. 147-152.

29. Астайкин Д.В. Эффективность координат судна при смеси нормально распределенных погрешностей выборки / Астайкин Д.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 10-13.

30. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.

31. Bober R. The DGPS system improve safety of navigation within the port of Szczecin / Bober R., Grodzicki P., Kozlowski Z., Wolski A. // 12 Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg, 23-25 May, 2005. St. Petersburg: Elektropribor. 2005, c. 192-194.

32. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. – Saarbrucken, Deutschland/ Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.

33. Kubo Masayoshi. Research of method of calculation of probability of collision of ship with the rectangular bull of bridge at tearing down by wind and flow / Kubo Masayoshi, Sakakibara Shigeki, Hasegawa Yoshimi, Nagaoka Tadao. // Nihon kokai gakkai ronbunshu -J. Jap. Inst. Navig. - 2001. - 104/ - P. 225-233.

34. Мельник Е.Ф. Приближенное описание смешанных распределений погрешностей навигационных измерений / Мельник Е.Ф. // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – 2002. – Вып. 7. - Одесса: ОГМА. – С. 96 – 100.

35. В.В. Степаненко. Эффективность оценки параметров ситуации опасного сближения судов / В. В. Степаненко. // Судовождение: Сб. науч. трудов / ОГМА. – Вып. 2 – Одесса: Латстар, 2000. – С. 201 – 209.

36. Мудров В.М. Методы обработки измерений / Мудров В.М., Кушко В.Л. - М.: Советское радио, 1976. 192 с.

37. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения: - Т.2. / Феллер В. - М.: Мир,1984.-751 с.

38. Ткаченко А.С. Применение обобщенных пуассоновских распределений для описания навигационных погрешностей / Ткаченко А.С., Алексишин В.Г. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 93 – 99.

39. Алексейчук Б.М. Сравнительная характеристика смешанных законов распределения погрешностей навигационных измерений с обобщенным пуассоновским законом/Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е.// Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: ОНМА. – С. 3 – 8.

40. Алексейчук Б.М. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных линиях положения, полученная имитационным моделированием / Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е., Астайкин Д.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 47 - 51.

41. Сикирин В.Е. Описание навигационных погрешностей с помощью обобщенного распределения Пуассона./ Сикирин В.Е. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 152-157.

42. Астайкин Д.В. Анализ особенностей обобщенного пуассоновского закона и смешанных законов распределения погрешностей навигационных измерений / Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М, Сикирин В.Е. // Развитие науки в XXI веке: Материалы XXVII международной научно-практической конференции, 15 сентября 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 19 - 24.

43. Алексейчук Б.М. Модели формирования законов распределения погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е.// Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: ОНМА. – С. 3 – 11.

44. Ворохобин И.И. Эффективность применения полиномов Эрмита для ортогонального разложения плотностей распределения навигационных погрешностей/ Ворохобин И.И., Сикирин В.Е., Фусар И.Ю.// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 24-30.

45. Ворохобин И.И. Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах / Ворохобин И.И., Казак Ю.В., Северин В.В. – LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2018. - 239 с.

46. Ворохобин И.И. Разработка теории и методов оценки и повышения надежности судовождения: монография / Ворохобин И.И. - Одесса: НУ «ОМА», 2019 - 308 с.

47. Ворохобин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе / Ворохобин И.И., Северин В.В, Казак Ю.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 40 - 47.

48. Ворохобин И.И. Количественная оценка безопасности судовождения / Ворохобин И.И., Северин В.В., Казак Ю.В. // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 34 – 39.

49. Ворохобин И.И. Векториальные погрешности, возникающие при повороте судна / Ворохобин И.И., Казак Ю.В.// Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016. - С. 60 - 64.

50. Казак Ю. В. Оценка векториальной погрешности поворота судна и минимизация ее величины / Казак Ю. В., Северин В. В. // Автоматизация судовых технических средств: науч.- техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ «ОМА». – С. 37 – 43.

51. Ворохобин И.И. Выражение плотности бокового отклонения судна от программной траектории движения при нормальном законе распределения / Ворохобин И.И., Северин В.В.// Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016. - С. 56 - 59.

52. Северин В. В. Применение электронной карты для оценки безопасности плавания стесненным маршрутом / Северин В.В. // Развитие науки в XXI веке: Материалы XXX международной научно-практической конференции, 15 декабря 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 34-40.

53. Казак Ю.В. Влияние погрешности перекладки пера руля на точность поворота судна/ Казак Ю.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов.: НУ «ОМА», Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 96 - 101.

54. Ворохобин И.И. Плотность распределения векториальной погрешности поворота судна / Ворохобин И.И., Северин В.В., Казак Ю.В. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск. – 2017. – выпуск 3 (84). – С. 65 - 69.

55. Казак Ю.В. Определение величины векториальной погрешности поворота судна / Казак Ю.В., Северин В.В. // Развитие науки в XXI веке: Материалы XXVII международной научно-практической конференции, 15сентября 2017 - Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2017. – С. 34-37.

56. Северин В.В. Сравнение моделей оценки вероятности проводки судна стесненным маршрутом/ Северин В.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 196-201.

57. Северин В.В. Оценка вероятности безопасной проводки судна стесненным маршрутом / Северин В.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. - С. 94 -98.

58. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Мельник Е.Ф. // Судовождение. - 2002. – № 5. – С. 65 – 73.

59. Бузовский Д.А. Имитационное моделирования влияния структуры радиолокационной системы обращенного типа на точность контроля позиции судна / Бузовский Д.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.12. - Одесса: «ИздатИнформ», 2006. – С. 19 – 25.

60. Алексишин В.Г. Перспективы разработки навигационных систем обращенного типа / Алексишин В.Г., Бузовский Д.А. // Судовождение. – 2005. - № 9. – С. 3 – 6.

61. Алексишин В.Г. Выбор скалярного критерия точности для оценки эффективности структуры локальных навигационных систем / Алексишин В.Г., Бузовский Д.А. // Судовождение. – 2005. - № 10. – С. 9 – 14.

62. Бузовский Д.А. Зависимость точностного критерия радиолокационной системы обращенного типа от ее структуры / Бузовский Д.А. // Судовождение. – 2006. - № 11. – С. 14 – 19.

63. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

64. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015.-312 с.

65. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

66. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.

67. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.

68. Пятаков Э.Н. Локально независимое управление процессом расхождения судов/ Пятаков Э.Н., Омельченко Т.Ю., Волков Е.Л.// Науковий

вісник Херсонської державної морської академії. – 2017. – № 2(17). – С. 79 - 87.

69. Пятаков Э.Н. Определение областей взаимных обязанностей судов при опасном сближении/ Пятаков Э.Н., Капанский С.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 137-143.

70. Пятаков Э.Н. Координация безопасного расхождения трех судов/ Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л.// Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 185-193.

71. Кулаков М.О. Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения / Кулаков М.О., Козаченко О.Ю., Степаненко В.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 103-108.

72. Омельченко Т.Ю. Формы истинной и относительной траекторий расхождения судов/ Омельченко Т.Ю., Калюжный В.В., Бородулин А.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С.109-119.

73. Пятаков Э.Н. Формирование системы бинарной координации судов с учетом закона необходимого разнообразия Эшби / Пятаков Э.Н. // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ «ОМА». – С. 75 – 78.

74. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров движения судов для безопасного расхождения / Бурмака И.А., Пятаков Э.Н.// Austria - science, Issue: 11, 2018.- С. 34-38.

75. Волков Е. Л. Оперативный способ предупреждения столкновения судов с помощью области недопустимых параметров движения / Волков Е. Л. // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ «ОМА». – С. 21-24.

76. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения судов / Пятаков Э.Н., Омельченко Т.Ю. // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ «ОМА». – С. 77-83.

77. Волков Е.Л. Использование областей недопустимых значений параметров движения судна при локально - независимом управлении процессом расхождения / Волков Е.Л. // East European Scientific Journal, № 11 (27), 2017, part 1. - С. 14 - 23.

78. Петриченко О.А. Использование областей недопустимых параметров расхождения для предотвращения столкновения судов / Петриченко О.А. // Austria - science, Issue: 26, 2019.- С. 28-34.

79. Петриченко О.А. Способ оперативного определения параметров маневра расхождения судна / Петриченко О.А., Цымбал Н.Н.// Austria - science, Issue: 23, 2019. - С. 48-53.

80. 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. 78 - 81.

81. Волков Е.Л. Маневр расхождения судна снижением скорости активным торможением / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017.- С. 98 - 101.

82. Волков А.Н. Использование виртуальных областей при плавании судна в стесненных водах / Волков А.Н., Голиков А.А., Булгаков А.Ю. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 56 - 60.

83. Волков А.Н. Формирование процесса расхождения судна в ситуации опасного сближения методом виртуальных областей / Волков А.Н., Булгаков А.Ю., Голиков А.А. // East European Scientific Journal, № 11 (27), 2017, part 1. - С. 4-13.

84. Пятаков Э.Н. Способ определения безопасного маневра расхождения судна изменением курса в ситуации опасного сближения с двумя целями/ Э.Н. Пятаков, В.Э. Пятаков, Т.Ю. Омельченко // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(18), Issue: 158, 2018.- С. 72 - 75.

85. Пятаков Э.Н. Способ расхождения судна с двумя опасными целями последовательными уклонениями / Пятаков Э.Н., Пятаков В.Э., Петриченко О.А. // Austria - science, Issue: 16, 2018.- С. 44-48.

86. Пятаков В.Э. Имитационное моделирование процесса расхождения судна с двумя целями / Пятаков В.Э. // Austria - science, Issue: 26, 2019.-С. 35-42.

87. Бурмака И.А. Методы внешнего управления судами в ситуации опасного сближения/ Бурмака И.А., Кулаков М.А., Калиниченко Г.Е.// Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2017. – № 2(17). – С. 4 - 14.

88. 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 - 47.

89. Бурмака И.А. Условие существования множества маневров расхождения судов изменением скоростей/ Бурмака И.А.// Судовождение: Сб. науч. трудов ОНМА, Вып. 27. - Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 32 – 37.

90. Бурмака И.А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов / Бурмака И.А., Булгаков А.Ю.// Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. – С. 18 – 23.

91. Кулаков М.А. Использование областей опасных скоростей для выбора маневра расхождения судов/ Кулаков М.А., Калиниченко Г.Е., Петриченко Е.А. // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ «ОМА». – С. 62 – 65.

92. Бородулин А.В. Определение предельно-допустимой дистанции сближения судов для доменов эллиптической и сложной формы / Бородулин А.В. // East European Scientific Journal, № 4 (44), 2019, part 1. - С. 37 - 42.

93. Пасечнюк С.С. Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения / Пасечнюк С.С.// East European Scientific Journal, № 5 (33), 2018, part 1. - С. 25 - 29.

94. Бурмака И.А. Учет инерционно-тормозных характеристик при выборе маневра расхождения изменением скоростей судов / Бурмака И.А. // Austria - science, Issue: 16, 2018.- С. 34-37.

95. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения / Пасечнюк С.С. // Austria - science, Issue: 16, 2018.- С. 38-43.

96. Калиниченко Г.Е. Учет инерционности судна при формировании области опасных курсов / Калиниченко Г.Е.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017.- С. 71 - 74.

97. Piattelly M. On the automatic determination of an optimal anticollision strategy/Piattelly M., Tiano A.// «Ship. Operat. Automat.» Amsterdam – Oxford. – 1975.- P. I06 – 114.

98. Cannell W. P. Collision avoidance as a game of coordination / Cannell W. P. // The Journal of Navigation. – 1981. - 34, № 2.- P. 220 - 239.

99. Scheffel B. Uberlegungen zum Kollisionsschutz auf See. Linksdrehende Peilung und kooperative Ausweichmanaver zwischen Schiffen/ Scheffel B.// Hansa. – 1987. - 124, № 12. - P. 775 – 778.

100. Hilgert Helmut. Die kritische Distanz in der Nebelfahrt / Hilgert Helmut // Hansa. - 1988.- 125, № 15 - I6. - P. 54 – 59.

101. Sclienk A. Zur optimaien Steuerung eine Schiffes in Kollisins sitationen unter Berucksichtigung des dynanuschen Manovrierverhaltens des Eigenschiffes / Sclienk A., Ruttler H. // Shiffbauforachung. - 1988. - 27, № 2. - P. 87 – 99.

102. Hilgert Helmut. «Manover des Kurchaltors» und «Manover des letzten Augenblicks» / Hilgert Helmut, Zopf Peter // Seewirtschaft. – 1989. - 21, № 11. - P. 536 – 539.

103. Lisowski J. Safety of navigation based – mathematical models of game ship control/ Lisowski J. // Journal of Shanghai Maritime University. - 2004. - No 104, Vol. 25. – P. 65 - 74.

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

105. Kao Sheng-Long. A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service / Kao Sheng-Long, Lee Kuo-Tien, Chang Ki-Yin, Ko Min-Der// J. Navig., 2007. 60, № 1, p. 17-31.

106. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129-142.

107. Lisowski J. Game Strategies of Ship in the Collision Situations/ J. Lisowski // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 8, № 1, 2014, page 69-77.

108. Kim D. Ship Collision Avoidance by Distributed Tabu Search/ Kim D., Hirayama K., Okimoto T. // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, № 1, 2015, page 23-29.

109. Hornauer S. Trajectory Planning with Negotiation for Maritime Collision Avoidance / Hornauer S., Hahn A., Blaich M., Reuter J. // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, № 3, 2015, page 335-341.

110. J. Lisowski. Analysis of Methods of Determining the Safe Ship Trajectory/ J. Lisowski// TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 10, № 2, 2016, page 376-381.

111. Xu X. Modeling of Ship Collision Risk Index Based on Complex Plane and Its Realization/ Xu X., Geng X., Wen Y.Q.//TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 10, No. 2, 2016, page 251-256.

112. Берестовой А.М. Блок-схема алгоритма расчета маневра последнего момента / Берестовой А.М., **Янчецкий А.В**., Черныш А.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 218-224.

113. Хуссейн Ю.М. Перспективные способы расхождения судов и анализ их эффективности. / Хуссейн Ю.М., **Янчецкий А.В.** // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – № 1(22). – 2020. – С. 54 – 63.

114. Бурмака И.А. Оценка вероятности степени опасности сближения судов / Бурмака И.А., **Янчецкий А.В.** // Судовождение: Сб. научн. трудов. / НУ «ОМА», Вып. 30. – Одесса: «ИздатИнформ», 2020 - С. 27-34.

115. Бурмака І.О. Визначення групи суден при небезпечному зближенні / Бурмака І.О., Ворохобін І.І., **Янчецький О.В.** // Судноводіння: Зб. наук. праць./ НУ «ОМА», Вип. 31. – Одеса: «ИздатИнформ», 2021 - С. 108-113.

116. Янчецкий А.В. Определение группы взаимодействующих судов при сближении в районе интенсивного движения. / Янчецкий А.В. // East European Science Journal, №1 (65), 2021, part 3. - С. 4 - 8.

117. Янчецкий А.В. Оценка вероятности корректного определения типа взаимодействия судов в ситуации опасного сближения. / Янчецкий А.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, IX(31), Issue: 250, 2021.- С. 46 - 49.

118. Янчецкий А.В. Способ оценки эффективности аналитических систем предупреждения столкновений судов / Янчецкий А.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): Матеріали XII Міжнародної наук.-практ. конф., 27-29 травня. 2020 – Херсон: ХДМА, 2020. – С. 127–129.

119. Янчецкий А.В. Процедура определения степени опасности ситуации сближения судов. / Янчецкий А.В. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 12-13 листоп. 2020 – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 101-104.

120. Burmaka I. Methods of Ship's External Steering in Condition of Close Quarters Situation / Burmaka I, Kulakov M., Khussein Y., **Yanchetskyy O**.// Transport Means 2020 Sustainability: Research and Solutions, Proceedings of the 24th International Scientific Conference, part II, September 30 - October 02, 2020, Online Conference - Kaunas, Lithuania, P. 753-757.

121. Ворохобин И.И. Оценка возможной вероятности обеспечения безаварийного плавания судна в стесненном районе / Ворохобин И.И., Северин В.В. // 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. 43–45.

122. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. - 564 с.

123. Бородулин А.В. Расчет границ области недопустимых значений курсов судов для домена эллиптической формы. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / НУ «ОМА», Вып. 29. – Одесса: «ИздатИнформ», 2019 - С.

124. Бурмака И.А. Определение предельно-допустимой дистанции сближения при эллиптической форме судового домена/ Бурмака И.А. // Austria - science, Issue: 23, 2019.- С. 36 - 43.

125. Бородулин А.В. Влияние безопасной зоны прямоугольной формы на определение величины предельно-допустимой дистанции сближения судов. / Бородулин А.В.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 186, 2018.- С. 68-71.

126. Бородулин А.В. Расчет границ области недопустимых значений курсов судов для домена прямоугольной формы/ Бородулин А.В.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 224, 2020.- С. 51-54.

127. Волков Е.Л. Применение области недопустимых параметров движения для предупреждения столкновения судов / Волков Е.Л., Омельченко

Т.Ю. // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017 г. – Харьков – С. 44-49.

128. Пятаков В.Э. Анализ области допустимых комбинированных маневров расхождения судна с двумя целями изменением курса и его активным торможением / Пятаков В.Э. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 186, 2018.- С. 72-76.

129. Демин С.И. Торможение судна / Демин С.И.– М.: Транспорт, 1975.– 81с.

130. Якушенков А.А. Автоматизация судовождения. / Якушенков А.А. - М.: Транспорт, 1967, - 364 с.

131. Сазонов А.Е. Автоматизация судовождения / Сазонов А.Е., Родионов А.А.- М.: Транспорт, 1977. - 208 с.

132. Месарович М. Теория иерархических много уравневых систем/ Месарович М., Мако Д., Такахара И. - М.: Мир, 1973. -. 344 с.

133. Пятаков Э.Н. Развитие теории и методов локально-независимого управления процессом расхождения судов/ Пятаков Э.Н. - Одесса: НУ «ОМА», – 2019. - 318 с.

ДОДАТОК А.

Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації

1. Берестовой А.М. Блок-схема алгоритма расчета маневра последнего момента / Берестовой А.М., **Янчецкий А.В**., Черныш А.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 218-224.

2. Хуссейн Ю.М. Перспективные способы расхождения судов и анализ их эффективности. / Хуссейн Ю.М., **Янчецкий А.В.** // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – № 1(22). – 2020. – С. 54 – 63.

3. Бурмака И.А. Оценка вероятности степени опасности сближения судов / Бурмака И.А., **Янчецкий А.В.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 30. – Одесса: «ИздатИнформ», 2020 - С. 27-34.

4. Бурмака І.О. Визначення групи суден при небезпечному зближенні / Бурмака І.О., Ворохобін І.І., **Янчецький О.В.** // Судноводіння: Зб. наук. праць./ НУ «ОМА», Вип. 31. – Одеса: «ИздатИнформ», 2021 - С. 108-113.

5. Янчецкий А.В. Определение группы взаимодействующих судов при сближении в районе интенсивного движения. / Янчецкий А.В. // East European Science Journal, №1 (65), 2021, part 3. - С. 4 - 8.

6. Янчецкий А.В. Оценка вероятности корректного определения типа взаимодействия судов в ситуации опасного сближения. / Янчецкий А.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, IX(31), Issue: 250, 2021.- С. 46 - 49.

7. Янчецкий А.В. Способ оценки эффективности аналитических систем предупреждения столкновений судов / Янчецкий А.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): Матеріали XII Міжнародної наук.-практ. конф., 27-29 травня. 2020 – Херсон: ХДМА, 2020. – С. 127–129.

8. Янчецкий А.В. Процедура определения степени опасности ситуации сближения судов. / Янчецкий А.В. //Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 12-13 листоп. 2020 – Одеса : НУ «ОМА», 2020. – С. 101–104.

9. Burmaka I. Methods of Ships' External Steering in Condition of Close Quarters Situation/ I. Burmaka, M. Kulakov, Y. Khussein, **O. Yanchetskyy** // Transport Means 2020 Sustainability: Research and Solutions, Proceedings of the 24th International Scientific Conference, part II, September 30 - October 02, 2020, Online Conference - Kaunas, Lithuania, P. 753-757.

Відомості про апробацію результатів дисертації.

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

Науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 12-13 листопаду 2020 р.), XII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020)» (Херсон, 27-29 травня 2020 р.), 24 Международная научная конференция «Transport Means 2020 Sustainability: Research and Solutions» (Каунас, 30 серпня-2 жовтня 2020 р.).

ДОДАТОК В.

Акти упровадження результатів дисертації

INTERNATIONAL CREWING AGENTS

ACOMARIN (ODESSA) LTD

Panteymonovskaya str. 88/1, office 302
65007, Odessa, Ukraine
TEL: +38 (048) 785-18-20
FAX: +38 (048) 785-18-21
e-mail: office@acomarin.com.ua

19.04.2021 г.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в компанії ООО «Акомарін(Одеса)» одержав впровадження метод визначення групи суден, що взаємодіють, в ситуації зближення, який запропонований в дисертаційній роботі Янчецького Олександра Віталійовича на тему „Вдосконалення методів попередження зіткнення суден врахуванням ефективності їх маневру розходження".

Метод викладається при перепідготовці судноводіїв компанії.

З повагою,

Директор
компании ООО «Acomarin(Одеса)»
в Україні

FOR ACOMARIN(ODESSA) LT
GENERAL MANAGER
OLGA USHAKOVA

ООО «АКОМАРИН (Одесса)»
ул. Пантелеймоновская 8\1, офис 302, 65007, г. Одесса, Украина
тел: +38 (048) 785-18-20
факс: +38 (048) 785-18-21
e-mail: office@acomarin.com.ua

Т/С N 26001226701 в гривнах Украины
N 26001226702840 в долларах США
В АКБ «ПОРТО-ФРАНКО» МФО 328180

Код ЕГРПОУ 31892761

МПП «ТРАНСКОНТИНЕНТАЛЬНЕ СЕЙСМОПРОГНОЗОВЕ БЮРО»

ЄДРПОУ 13910459, КВЕД 72.19 (приватна наукова установа)

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується впровадження в МПП «Трансконтинентальне сейсмопрогнозове бюро» методів вдосконалення управління процесом розходження суден зміною параметрів їх руху і виконанням ефективного маневру розходження, які розроблені в дисертаційній роботі Янчецького Олександра Віталійовича на тему «Вдосконалення методів попередження зіткнення суден врахуванням ефективності їх маневру розходження».

Способи які рекомендовані для визначення параметрів ефективності маневру розходження суден передбачають урахування наявності навігаційних перешкод та динаміки руху суден, що розходяться є корисними під час виконання науково-дослідним судном морської геофізичної зйомки акваторії в межах морської сейсмоактивної зони під час проведення досліджень з прогнозування землетрусів.

Зазначений акт не є підставою для будь-яких фінансових розрахунків.

Засновник МПП «Трансконтинентальне сейсмопрогнозове бюро», академічний радник Інженерної академії України, к.г.-м.н. (морська геофізика) Борис КАПОЧКІН
11.05.2021 р.

УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
АЗОВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ІНСТИТУТ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

87517, м. Маріуполь, вул. Чорноморська, 19, тел./факс: (0629) 37-00-42
код ЄДРПОУ 24462403
E-mail: info@ami.edu.ua Web site: www.ami.edu.ua

14.04.2021 № 223-21/1
на №_____ від _____

АКТ впровадження

Результати визначення методу стратегії розходження груп суден, що небезпечно зближуються, які розроблені в дисертаційній роботі Янчецького Олександра Віталійовича «Вдосконалення методів попередження зіткнення суден врахуванням ефективності їх маневру розходження» рекомендовані до впровадження в навчальному процесі Азовського морського інституту Національного університету «Одеська морська академія».

Директор,
к.е.н., професор НУ «ОМА» **О.П.Лисий**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ • АЗОВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ • ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ • м. МАРІУПОЛЬ, ДОНЕЦЬКА ОБЛ.
АЗОВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ІНСТИТУТ КОД ЄДРПОУ 24462403

ISO 9001:2015
BUREAU VERITAS
Certification