

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Пасечнюк Сергій Сергійович

УДК 656.61.052

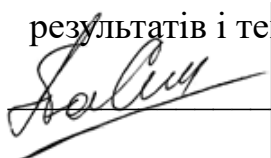
ДИСЕРТАЦІЯ

ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ЗАСТОСУВАННЯМ СПІЛЬНОГО 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



Пасечнюк С. С.

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

Одеса – 2020

АНОТАЦІЯ

Пасечнюк С.С. Попередження зіткнення суден застосуванням спільного маневру розходження. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271 – Річковий та морський транспорт). – Національний Університет «Одеська морська академія», Одеса, 2020.

Як витікає з огляду літератури, проведеному в першому розділі дисертації, попередження зіткнень суден при їх плаванні в стислих водах являється одним із найбільш важливих аспектів забезпечення безпеки судноводіння, вирішення якого вимагає удосконалення існуючих методів, розробки нових прийомів та технологій визначення безпечних маневрів розходження суден в ситуаціях небезпечного зближення. Плаванню суден в стислих водах притаманне виникнення ситуацій небезпечного зближення трьох і більше суден, при яких існуючими методами край ускладнений вибір маневру безпечного розходження. Ця обставина обумовлює необхідність розробки нових прийомів оперативного визначення параметрів безпечного маневру розходження зміною параметрів руху обох суден, використовуючи відповідні області неприпустимих значень параметрів руху суден.

В дисертаційній роботі розглянуто питання вибору теми дослідження і його основних напрямів. Приведена технологічна карта дисертаційного дослідження, яка відображає методологічну структуру дисертації, та приведено методологічне забезпечення роботи.

Мета дисертаційного дослідження і його головна задача вказані у технологічній карті, в ній показана декомпозиція головної задачі на три допоміжні задачі. Запропонована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження по темі дисертації, вказана наукова новизна роботи, яка одержана

при рішенні допоміжних задач.

Значущість і практична цінність дисертаційного дослідження також показані у другому розділі. Сформульоване основне наукове положення роботи та стисло викладена методика рішення допоміжних задач, поставлених в роботі, причому в методиці вказані основні етапи виконання наукового дослідження по темі дисертації, і вона являється узагальненим методологічним алгоритмом виконання наукового дослідження по темі дисертації, в якому передбачено теоретичні розробки, натурні спостереження та імітаційне комп'ютерне моделювання.

В основній частині роботи приведені матеріали і методи, які необхідні для вирішення поставленої в дисертаційній роботі головної задачі, а також представлена суть принципу формування області небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна, як і застосування її для вибору безпечного маневру розходження.

Приведено поняття ситуативного збурення, яке виникає у разі небезпечного зближення суден і оцінка його рівня небезпеки, показано, що при зближенні декількох суден використовується матриця ситуативного збурення. Проведено аналіз типів управління процесом розходження суден при небезпечному зближенні. Показано, що класичним типом управління процесом розходження є локально-незалежне управління, що передбачає застосування системи бінарної координації, яка в даний час реалізована в МППЗС-72. Системи управління рухом суден застосовують для процесу їх розходження принцип повного зовнішнього управління, переваги якого розглянуті в роботі.

Для зовнішнього управління процесом розходження суден розглянуто спосіб оцінки ситуації зближення пари суден і вибору маневру їх розходження за допомогою області небезпечних курсів суден, що зближуються, причому можливе урахування інерційності судна при повороті і наявність навігаційних небезпек, які знаходяться в районі маневрування.

Якщо розходження суден зміною курсів ускладнено, показано, що може

бути використана область небезпечних швидкостей суден для вибору маневру розходження зміною їх швидкостей, розглянуто спосіб формування області небезпечних швидкостей і її застосування для аналізу ситуації зближення суден і приведена процедура вибору оптимального маневру розходження за допомогою розглянутої області.

Показано доцільність розробки процедури формалізації області небезпечних курсів і швидкостей пари суден при зовнішньому управлінні їх процесом розходження, що значно розширить можливості безпечної розходження суден в ситуації небезпечного зближення.

У роботі досліджено стратегії розходження суден, що небезпечно зближуються, за допомогою областей небезпечних курсів і швидкостей. Спочатку одержані процедури формування області небезпечних курсів одного судна і швидкостей другого судна з урахуванням їх співвідношення швидкостей і динаміки. Одержано спосіб формування областей для випадку суден з тривалістю перехідних процесів зміни курсів і швидкостей, якими можна знехтувати. Також розглянуті процедури формування областей небезпечних курсів одного судна і швидкостей другого судна, які мають значну інерційність. Одержані способи формування областей у разі зниження швидкості другого судна активним або пасивним гальмуванням. Приведені приклади вибору безпечного маневру розходження в ситуації небезпечного зближення двох суден.

Також розглянуто більш складну ситуацію зближення двох суден за наявності третього судна, що заважає, і запропоновано спосіб вибору безпечного маневру розходження з урахуванням третього судна, що заважає. Причому для такої ситуації запропоновано дві альтернативні процедури вибору безпечного маневру розходження.

Досліджений вплив стохастичних похибок вимірювань пеленга і дистанції судна на параметри маневру розходження, враховуючи залежність величини гранично-допустимої дистанції зближення від похибок вимірювання. Показано,

що величина її стохастичної складової залежить від закону розподілу векторіальної позиційної похибки.

Робота містить результати натурних спостережень похибок вимірювання пеленга і дистанції. Показано, що похибки розподілені по змішаним законам першого і другого типу. Приведені вибірки похибок і побудовані гістограми.

Опис імітаційної комп'ютерної програми для перевірки коректності одержаного в дисертаційній роботі способу вибору безпечного маневру розходження суден сумісною зміною курсу одного судна і швидкості іншого судна приведено в завершення роботи. При цьому враховується наявність третього судна, що заважає. В розділі також представлені результати перевірки імітаційним моделюванням процесу розходження суден в різних ситуаціях небезпечного зближення.

Розроблена комп'ютерна імітаційна програма містить три функціональні модуля:

- синтезу початкової ситуації небезпечного зближення двох суден з урахуванням третього судна, що заважає;
- формування областей неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна при активному або пасивному гальмуванні і розробка процедури розрахунку з їх допомогою параметрів безпечних маневрів розходження;
- імітаційне моделювання заданого сумісного маневру розходження суден: зміною курсу першого судна і зниженням швидкості другого судна активним або пасивним гальмуванням.

За допомогою першого модуля програми генерується початкова ситуація небезпечного зближення суден при наявності або без третього судна, що заважає, інтерактивним введенням її параметрів з визначенням значень дистанцій найкоротшого зближення з кожною із цілей. Також передбачено вибір стандартних ситуацій небезпечного зближення двох або трьох суден. Для початкової ситуації небезпечного зближення, що генерується або вибраної,

другим модулем формується область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна при урахуванні вибраного режиму гальмування, графічне зображення якої виводиться на екран монітора, що дозволяє вибрати параметри безпечного маневру розходження суден з подальшим відображенням їх значень на інформаційних панелях.

Для вибраного безпечного сумісного маневру розходження суден третій модуль комп'ютерної програми забезпечує імітаційне моделювання процесу розходження і виводить інформацію про поточні значення параметрів процесу розходження суден.

Процес імітаційного програвання маневру розходження є анімаційним відображенням процесу розходження суден за наявності або без третього судна, що заважає, аналіз якого дозволяє зробити висновок про коректність одержаних маневрів розходження суден. Викладені в п'ятому розділі результати імітаційного моделювання маневрів розходження в запропонованих ситуаціях небезпечного зближення підтверджують коректність розробленого способу вибору сумісного маневру розходження суден за допомогою областей неприпустимих параметрів з урахуванням наявності третього судна, що заважає, або без нього.

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

У дисертаційній роботі:

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

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

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

Практичне значення властиве проведеному дисертаційному дослідженню полягає у тому, що його результати можуть бути впроваджені в системах управління рухом суден для попередження зіткнень, а також розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління суднами.

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

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

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, зовнішнє управління, області небезпечних значень параметрів руху суден, спільний маневр розходження.

Основні результати дисертаційного дослідження здобувача опубліковані в наступних наукових працях:

Основні наукові результати дисертації.

1. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения/ Бурмака И.А., Пасечнюк С. С., Кулаков М. А.// Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск. – 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 – 81.

2. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении. / Бурмака И.А., Кулаков М.А., **Пасечнюк С.С.** // East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1. – С. 40 – 48.

3. Калиниченко Г. Е. Учет динамических характеристик судов при формировании области их опасных курсов / Калиниченко Г. Е., **Пасечнюк С.С.** // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 28 – 34.

4. Алексейчук Б.М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений / Алексейчук Б.М., **Пасечнюк С.С.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 10 – 15.

5. Калиниченко Г. Е. Формирование области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик/ Калиниченко Г.Е., **Пасечнюк С.С.** // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 44 – 51.

6. Бурмака И.А. Формализация области опасных курсов и скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Бурмака И.А., **Пасечнюк С.С.** // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, – 2017. – Вып. 28. – С. 16 – 23

7. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э.Н., **Пасечнюк С.С.**, Омельченко Т.Ю.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 97 – 101.

8. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения / Пасечнюк С.С. // Austria - science, Issue: 16, 2018. – С. 38 – 44.

9. Бурмака И.А. Выбор совместной стратегии расхождения судов изменением параметров движения при их внешнем управлении. / Бурмака И.А., **Пасечнюк С.С.** // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 41 – 45.

10. **Пасечнюк С.С.** Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения/ Пасечнюк С.С.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. – С. 25 – 30.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

11. Алексейчук Б.М. Определение законов распределения погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., **Пасечнюк С.С.** // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 52 – 53.

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

13. Алексейчук Б.М. Влияние длительности формирования выборки на закон распределения вероятностей погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е., **Пасечнюк С.С.** // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17–18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 23 – 25.

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

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

ANNOTATION

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

As ensues from the analysis of literature, conducted in the first section of dissertation, warning of collisions of ships at their sailing in the compressed waters is one of the most actual aspects of providing of safety of navigation, the decision of which needs development of new and improvement of existent methods of determination of safe maneuvers of divergence of ships in the situations of dangerous approchement. To sailing of ships in the congested waters inherent origin of situations of dangerous approchement three and more of ships, at which by existent methods impossible choice of maneuver of safe divergence. This circumstance stipulates the necessity of development of new methods of operative determination of parameters of safe maneuver of divergence by the change of parameters of motion of both ships, using the proper regions of impermissible values of parameters of motion of ships.

The question of choice of theme of research and his basic directions is considered in dissertation work. Resulted technological card of dissertation research, which represents the methodological structure of dissertation, and the methodological providing of work is resulted.

The purpose of dissertation research and his main task is indicated in a technological card, in her shown decomposition of main task on three supportive tasks. Offered and confirmed working hypothesis of scientific research on the theme of dissertation, indicated scientific novelty of work, which is got at the decision of supportive tasks.

Meaningful and practical value of dissertation research is also shown in the

second section. Formulated substantive scientific provision of work and briefly laid out method of decision of the component tasks put in work, thus in a method the indicated basic stages of implementation of scientific research on the theme of dissertation, and she is the generalized methodological algorithm of implementation of scientific research on the theme of dissertation, theoretical developments, model supervisions and imitation computer design, are foreseen in which.

In basic part of work the resulted materials and methods, which are needed for the decision the main problem set in dissertation work, and also represented essence of principle of forming of region of dangerous parameters of course of one ship and speed of the second ship, as well as application of her for the choice of safe maneuver of divergence.

The concept of situation indignation which arises up in the case of dangerous approchement of ships and estimation of his level of danger is resulted, it is shown that at approchement of a few ships the matrix of situation indignation is used. The analysis of types of process control of divergence of ships is conducted at dangerous approchement. It is shown that the locally-independent management is the classic type of process control of divergence, which foresees application of the system of binary co-ordination which is presently realized in CollReg. The traffic control systems of ships apply principle of complete external management for the process of their divergence, advantages of which are considered in work.

For external control of the process of ship divergence, the method of assessing the situation of convergence of a pair of vessels and choosing the maneuver of their divergence using the area of dangerous courses of approaching vessels is considered, and it is possible to take into account the inertia of the vessel when turning and presence of navigation dangers which are in the area of maneuvering.

If the divergence of ships by course change is complicated, it is shown that the area of dangerous speeds of ships can be used to select the maneuver of divergence by changing their speeds, the method of forming the area of dangerous speeds and its application to asses the situation of approach and a procedure of choice of optimum

maneuver of divergence by the considered area.

The expediency of developing a procedure for formalizing the area of dangerous courses and speeds of a pair of vessels in the external control of their divergence process is shown, which will significantly expand the possibilities of safe divergence of vessels in a situation of dangerous approach.

Strategies of divergence of ships which are dangerously drawn together are explored in work, by the regions of dangerous courses and speeds. At first got procedures of forming of area of dangerous courses of one ship and speeds of the second ship taking into account their correlation of speeds and dynamics. The method of forming of area is got for the case of ships with duration of transitional processes of change of courses and speeds by which it is possible to scorn. Also considered procedures of forming of area of dangerous courses of one ship and speeds of the second ship, which have significant inertia. Obtained methods of forming of area in the case of reducing of speed of the second ship by the active or passive braking. Given examples of choice of safe maneuver of divergence in the situation of dangerous approchement of two ships.

More difficult situation of approchement of two ships is also considered at presence of the third interfering ship, and the method of choice of safe maneuver of divergence is offered taking into account the third interfering ship. Moreover, for such situation two alternative procedures of choice of safe maneuver of divergence are offered.

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

The work contains the results of nature observation of errors of measuring of bearing and distance. It is shown that errors distributed on to the mixed laws of the first and second type. Resulted selections of errors and drawn histograms.

Description of the imitation computer program for verification of correctness of the method of choice of safe maneuver of divergence of ships got in dissertation work by the joint alteration of course of one ship and speed of other ship it is resulted in completion of work. The presence of the third interfering ship taken into account. The section also presents the results of verification by simulation of the process of divergence of ships in different situations of dangerous approach.

The developed computer imitation program contains three functional module:

- synthesis of initial situation of dangerous approchement of two ships taking into account the third ship, that prevents;
- forming of area of impermissible values of courses of the first ship and speeds of the second ship at the active or passive braking and development of procedure of calculation with their help of parameters of safe maneuvers of divergence;
- simulation modeling of the assign joint maneuver of divergence of ships: by the change of course of the first ship and reduce of speed of the second ship by the active or passive braking.

By the first program unit the initial situation of dangerous approchement of ships is generated at presence of or without the third interfering ship, by interactive introduction of its parameters with determination of values of distances of the closest approchement with each of targets. The choice of standard situations of dangerous approchement of two or three ships is also foreseen. For the initial situation of dangerous approchement, that is generated or chosen, the second module forms the area of impermissible values of courses of the first ship and speeds of the second ship at the account of the chosen mode of braking, the graphic image of which shown on the screen of monitor, that allows to choose the parameters of safe maneuver of divergence of ships with the subsequent reflection of their values on informative panels.

For the selected safe compatible vessel divergence maneuver, the third module of the computer program provides simulation of the divergence process and displays information about the current values of the parameters of the vessel divergence

process.

The process of simulated reproduction of the divergence maneuver is an animated representation of the process of divergence of vessels in the presence or without a third interfering vessel, the analysis of which allows to draw a conclusion about the correctness of the obtained divergence maneuvers. The results of imitation design of maneuvers of divergence laid out in a fifth section in the offered situations of dangerous approach confirm correctness of the developed method of choice of joint maneuver of divergence of ships by the area of impermissible parameters taking into account the presence of the third interfering ship, or without.

The scientific novelty of the results got in dissertation consists in creation of a new method of determination of safe maneuver of divergence of ships at their external management, which is realized in the computer program, and is differed by application of region of dangerous values of course of one ship and speed of other at presence of the third interfering ship.

In dissertation work:

- improved the method of forming the area of dangerous courses and speeds of a pair of ships, taking into account the ratio of their speeds;
- improved the method of forming the area of dangerous courses and speeds of a pair of vessels, taking into account their inertial-braking characteristics;
- the procedure for determining the parameters of the joint maneuver of divergence of vessels taking into account their dynamics was further developed.

The practical significance of the dissertation research is that its results can be implemented in ship traffic control systems to prevent collisions, as well as the developers of navigation information systems for external ship management.

The practical results of the dissertation research were inculcated by the crewing company «Danica Ukraine» during training of the deck officers (implementation act dated 11.09.2019).

The materials of the dissertation research were included as an integral part in the final report on the research work «Ensuring the safety of navigation in congested

areas of navigation» NU «ONMA», Odessa 2018. (Act dated 20.02.2019).

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

The main results of the dissertation research of the applicant are published in the following scientific works:

Basic scientific results of dissertation:

1. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения/ Бурмака И.А., **Пасечнюк С. С.**, Кулаков М.А. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 – 81.

2. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении./ Бурмака И.А., Кулаков М.А., **Пасечнюк С.С.**// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1. – С. 40 – 48.

3. Калиниченко Г. Е. Учет динамических характеристик судов при формировании области их опасных курсов / Калиниченко Г. Е., **Пасечнюк С.С.** // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 28 – 34.

4. Алексейчук Б.М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений / Алексейчук Б.М., **Пасечнюк С.С.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 10 – 15.

5. Калиниченко Г. Е. Формирование области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик/ Калиниченко Г.Е., **Пасечнюк С.С.** // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 44 – 51.

6. Бурмака И.А. Формализация области опасных курсов и скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения / Бурмака И.А.,

Пасечнюк С.С. // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, – 2017. –Вып. 28. – С. 16 – 23.

7. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э.Н., **Пасечнюк С.С.**, Омельченко Т.Ю.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 97 – 101.

8. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения / Пасечнюк С.С. // Austria - science, Issue: 16, 2018. – С. 38 – 44.

9. Бурмака И.А. Выбор совместной стратегии расхождения судов изменением параметров движения при их внешнем управлении. / Бурмака И.А., **Пасечнюк С.С.** // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 41 – 45.

10. **Пасечнюк С.С.** Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения/ Пасечнюк С.С.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. – С. 25 – 30.

Publications which certify approbation of materials of dissertation.

11. Алексейчук Б.М. Определение законов распределения погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., **Пасечнюк С.С.** // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16–17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 52 – 53.

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

13. Алексейчук Б.М. Влияние длительности формирования выборки на

закон распределения вероятностей погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е., **Пасечнюк С.С.** // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17–18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 23 – 25.

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

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ	26
1.1. Аналіз літературних джерел щодо проблеми забезпечення безаварійного плавання морських суден.....	26
1.2. Обґрунтування вибору напрямку дисертаційного дослідження.....	51
1.3. Висновки за першим розділом	52
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ	54
2.1. Визначення тематики дисертаційного дослідження	54
2.2. Методи дослідження дисертаційної роботи	56
2.3. Характеристика методики проведення дослідження	61
2.4. Висновки за другим розділом.....	63
РОЗДІЛ 3. УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН	64
3.1. Дослідження чинників, які впливають на формування області небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна та вибору безпечного маневру розходження.....	64
3.4. Формування області небезпечних швидкостей і її застосування для аналізу ситуації зближення суден	82
3.5 Вплив стохастичних похибок вимірювань на параметри маневру розходження	101
3.6. Результати натурних спостережень	106
3.7. Висновки за третім розділом.....	114
РОЗДІЛ 4. ОПЕРАТИВНИЙ ВИБІР СТРАТЕГІЇ РОЗХОДЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЛАСТІ НЕБЕЗПЕЧНИХ КУРСІВ І ШВИДКОСТЕЙ.....	116
4.1. Визначення безпечного сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик.....	116

4.3. Висновки за четвертим розділом.....	138
РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН СУМІСНИМ МАНЕВРОМ.....	140
5.1. Імітаційна програма визначення параметрів сумісного маневру розходження суден.....	140
5.2. Імітаційне моделювання процесу розходження суден	157
5.4. Висновки за п'ятим розділом	180
ВИСНОВКИ.....	182
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	184
ДОДАТОК А. Фрагмент лістингу програми для розрахунку межі області неприпустимих значень курсу одного судна і швидкостей іншого	197
ДОДАТОК Б. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації.....	276
Відомості про апробацію результатів дисертації.....	278
ДОДАТОК В. Акти упровадження результатів дисертації	279

ВСТУП

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

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), а також згідно з планами наукових досліджень національного університету "Одеська морська академія" за держбюджетною темою «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» (№ ДР 0115U003580, 2018 р.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ.

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

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження стала теза про існування можливості зменшення ризику зіткнення суден застосуванням сумісного

маневру розходження зміною курсу одного судна і зниженням швидкості інших.

Головна задача дослідження полягала в удосконаленні методу вибору безпечних сумісних маневрів розходження суден з допомогою областей неприпустимих значень їх параметрів руху за наявності третього судна, що заважає.

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

- дослідження чинників, що впливають на формування області небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна за МППЗС-72;

- вибір безпечного маневру розходження при зовнішньому управлінні;

- визначення безпечного сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик.

Об'єктом дослідження дисертації є процес розходження суден.

Предметом дослідження – методи вибору безпечного маневру розходження.

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

- дедукції – при здійсненні інформаційного пошуку основних напрямів вирішення проблеми безпеки судноводіння;

- експертне оцінювання – для визначення теми дисертаційної роботи;

- системний підхід – при рішенні головної та допоміжних задач, формуванні структури методологічного забезпечення і технології наукового дослідження;

- математичний аналіз – для одержання рівнянь руху судна і визначення взаємної залежності параметрів руху суден та формування відповідних областей неприпустимих значень параметрів;

- аналітична геометрія – для формалізації межі області небезпечних значень курсів одного судна і швидкостей іншого судна.

– ідентифікація та верифікація – при здійсненні експериментів з розходження суден.

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

У дисертаційній роботі:

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

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

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

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

Особистий внесок здобувача. Здобувач самостійно виконав дисертаційну роботу: він виявив найбільш важливі аспекти вирішення проблеми підвищення безпеки судноводіння та детально проаналізував їх, ним проведено інформаційний пошук в цьому напрямку та обґрунтовано методологічне забезпечення дисертаційного дослідження, дисертант запропонував і виклав спосіб визначення спільного маневру розходження суден при зовнішньому управлінні з урахуванням третього судна, що заважає, він також розробив алгоритми формування комп'ютерної програми розрахунку спільного безпечного маневру розходження, здобувачем проведено імітаційне комп'ютерне моделювання процесу розходження суден, ним результати дисертаційного дослідження впроваджені в виробничий процес. В дисертації з наукових праць, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті положення, які належать автору особисто: урахування наявності другої цілі в стандартній ситуації небезпечного зближення [67], формування спільних стратегій розходження методами зовнішнього управління [79, 94], використання областей неприпустимих значень параметрів руху суден для оцінки ситуації зближення суден [85, 86], урахування динамічних характеристик поворотності судна при формуванні області неприпустимих значень параметрів руху суден [87, 89], перевірка статистичних гіпотез законів розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань [88, 91, 92], процедура розрахунку межі області неприпустимих значень параметрів курсу одного судна та швидкості іншого [90], залежність істотного параметру змішаних законів розподілу похибок навігаційних вимірювань від терміну формування вибірки похибок [93].

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

науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16–17 листопада 2016 р.), IX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні

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

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 15 наукових праць (з них 3 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України – 3 наукових статті [88–90]; в зарубіжних наукових профільних виданнях – 6 наукових статей [67, 74, 79, 83, 85, 86]; в збірниках матеріалів наукових конференцій – 5 доповідей [91- 94, 111].

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

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

1.1. Аналіз літературних джерел щодо проблеми забезпечення безаварійного плавання морських суден

З метою виявлення актуальних напрямків вирішення проблеми забезпечення безпечного плавання суден був проведений аналіз основних існуючих літературних джерел, який показав основні аспекти вирішення цієї проблеми:

- забезпечення необхідного рівня точності визначення позиції судна та кількісна оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.
- розробка і використання сучасних інформаційних технологій і засобів забезпечення безаварійного судноводіння.
- попередження зіткнень суден у стислих районах інтенсивного судноплавства шляхом розробки сучасних оперативних методів оптимізації процесу розходження суден.

Аспекту точності контролю місця судна, як одного із напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння в стислих умовах плавання присвячені роботи [1–19].

Новий підхід формування моделі виникнення випадкових величин навігаційних вимірювань викладено в роботі [1], який відрізнявся від моделі запропонованої К. Гаусом для обґрунтування нормального закону розподілу вірогідності випадкових величин. Це стало причиною використання в судноводінні гіпотези змішаних розподілів вірогідності випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів, відмінним від закону Гаусу, як показано в роботах [2, 3]. Запропонована гіпотеза про змішаний розподіл похибок пояснює

існуючі експериментальні дані по похибкам навігаційних вимірювань, для гістограм яких характерно надмірне число членів в їх крайніх розрядах, що не відповідає розподілу Гаусу. Для змішаних законів розподілу похибок притаманні «важкі хвости», зате недоліком являється те, що вони не являються стійкими, що не дає можливості їх застосування для опису систем залежних випадкових величин.

Результати дослідження можливості перетворення системи залежних випадкових величин в систему незалежних за допомогою узагальненого розподілу Пуассону [4] з базовим нормальним законом приведені в роботі [5].

Робота [6] присвячена точності визначення місця судна супутниковою радіонавігаційною системою, та розглянуті різні підходи до її оцінки. Як показав аналіз статистичних матеріалів точності визначення місця судна супутниковою навігаційною системою, розподіл вірогідностей випадкових похибок визначення широти і довготи відрізняється від нормального закону.

В роботі [7] встановлено, що похибки визначення місцеположення за системою GPS зростають при збільшенні відстані між приймачем системи DGPS і базовою станцією. причому похибка зростає на 1 м на кожні 150 км відстані від базової станції.

Для оцінки реальної похибки приймача були використані шість приймачів DGPS, які були розміщені через 50 миль на північ і південь від станції відліку вздовж португальського побережжя. Як визначено за отриманими даними, реальна похибка визначення позиції менша теоретичного значення і складає 0,22 м на кожні 100 км відстані від станції відліку. В портах за відсутності прямої видимості супутника похибки можуть досягати значно більших значень.

В роботах [8, 9] розроблена процедура оцінки ефективності координат судна з урахуванням змішаних розподілів похибок початкової вибірки, яка є сумішшю маргінальних вибірок нормально розподілених похибок з різною дисперсією.

Аналізу законів розподілу вірогідностей, за якими можуть бути розподілені

випадкові похибки вимірювань навігаційних параметрів присвячена робота [10]. Вона також розглядає питання залежності точності обсервованих координат судна від точності і числа ліній положення, закону розподілу їх похибок, а також методу розрахунку обсервованих координат.

Одержані аналітичні вирази оцінки ефективності обсервованих координат, розрахованих методом найменших квадратів в разі наявності надмірних ліній положення, похибки яких розподілені по законам відмінним від закону Гаусу. За допомогою комп'ютерного імітаційного моделювання підтверджена коректність одержаних аналітичних виразів. В натурних спостереженнях було одержано 12 вибірок випадкових похибок навігаційних вимірювань та визначені їх закони розподілу вірогідності, які в своїй більшості відносяться до змішаних законів обох типів.

Процедура визначення величини векторіальної похибки повороту судна, виникаюча через похибку перекладання керма і залежна від вибраної динамічної моделі обертального руху судна запропонована в роботі [11]. В ній також одержані аналітичні вирази для оцінки величини векторіальної похибки для двох динамічних моделей обертального руху судна і приведені чисельні приклади. Показано, що сумарна векторіальна похибку повороту у разі використання моделі другого порядку в чотири рази менша, ніж при простій динамічній моделі з постійною кутовою швидкістю повороту.

В роботі [12] за допомогою імітаційного моделювання одержана оцінка ефективності координат судна при надмірних вимірюваннях, обчислених методом найменших квадратів, у разі, коли похибки ліній положення підкоряються змішаним законам розподілу. Обчислені значення ефективності координат по аналітичних виразах залежно від істотного параметра розподілу. Оцінки ефективності координат судна, одержані імітаційним моделюванням, і розраховані по аналітичних виразах, мають хорошу збіжність.

Чинники, що ведуть до появи векторіальних похибок повороту судна, якими є похибку перекладання керма і похибку моменту часу початку маневру

повороту розглянуті в роботі [13]. Одержані формули оцінки значень векторіальної похибки повороту судна при появі похибки перекладання керма і похибки моменту часу початку маневру повороту. Розглянута процедура отримання щільності похибки бічного відхилення судна від програмної траєкторії залежно від двовимірної щільності позиційної векторіальної похибки.

Результати дослідження можливості застосування початкових поправок станції в районі порту Щецин при використанні радіонавігаційної системи DGPS викладені в роботі [14], що показали доцільність їх врахування для підвищення точності контролю місця судна. В ній також наголошується, що Одержані результати ведуть до підвищення застосування системи DGPS в районах підходу суден до порту Щецин.

Методу кількісної оцінки безпеки судноводіння при плаванні судна в обмежених водах, в якому показником безпеки судноводіння вибрана вірогідність безпечної проводки судна заданим маршрутом, присвячена робота [15]. Метод враховує точність контролю місця судна при проводці, яка характеризується випадковою похибкою бічного відхилення від програмної траєкторії руху. Приведені приклади оцінки вірогідності безпечної проводки судна розглянутим методом за допомогою комп'ютерної програми.

В роботі [16] приведені аналітичні вирази стандартної і нормованої щільності для змішаних законів розподілу вірогідності похибок першого і другого типів. Розраховані чисельні значення нормуючих множників і четвертих центральних моментів для нормованої щільності із значенням істотного параметра, який не перевершує 10. Запропоновано вираз оптимального ортогонального розкладання з одним членом, для якого характерна максимальна збіжність з нормованою щільністю.

Проведено розрахунок кривої нормованої щільності змішаних законів першого і другого типа і їх відповідних ортогональних розкладань в ряд Грама-Шарлье типу A, аналіз графіків яких показав хороший збіг щільності з їх

розкладанням.

В роботі [17] розроблено спосіб розрахунку координат судна за наявності надмірних ліній положення з допомогою ортогонального розкладання, що містить один член. Запропоновано аналітичні вирази для оцінки ефективності координат судна при розподілі похибок ліній положення по змішаному закону першого типу і розрахованих пропонованим способом. Проведено розрахунок значень ефективності координат, одержаних пропонованим способом і методом найменших квадратів. Зроблено висновок, що пропонований спосіб забезпечує вищу точність координат.

У роботі [18] показано, що поліноми Ерміту щільності розподілу закону Гауса ненормованої випадкової похибки, також як і нормованої, мають властивість ортогональності, що дозволяє щільність розподілу ненормованої похибки з позитивним ексцесом розкласти в ряд Грама - Шарлье типу А.

Аналітичний вираз чисельної оцінки вірогідності безпечної проводки судна заданим обмеженим маршрутом приведено в роботі [19]. Для закону Гаусу і змішаних законів розподілу першого і другого типу досліджена залежність вірогідності безпечної проводки судна заданим обмеженим маршрутом від параметрів закону розподілу похибки бічного відхилення судна щодо програмної траєкторії руху.

Розглянуто чисельний приклад оцінки вірогідності безпечного проходження судном заданого обмеженого маршруту при розподілі похибки бічного відхилення з незмінною дисперсією за законом Гауса і змішаними законами розподілу першого і другого типу з різними істотними параметрами. Одержана залежність вірогідності від значень істотного параметру змішаних законів. Для отримання результатів дослідження була розроблена і застосована комп'ютерна програма.

Методам моделювання руху судна в стислих умовах плавання присвячені публікації [20-33], які пов'язані з виконанням суднами різних маневрів, що сприяють більш ефективному і безпечному процесу судноводіння.

Система управління курсом судна автопілотом, яка побудована на принципах нечіткої логіки, розглянута в стаття [20]. В ній розглядається системи адаптації, що враховує складну динаміку та нелінійність математичної моделі судна, яке трактується як об'єкт управління з випадково змінюваними умовами роботи.

В роботі [21] відзначається, що через зростання вантажопідйомності сучасних суден викликає необхідність у вдосконалених комп'ютерних систем забезпечення їх безаварійного плавання. Як правило, у сучасних системах використовуються застарілі спрощенні прогностні моделі руху судна, які обмежують їх використання в частині поточного відображення руху судна в залежності від положення керма та обертів двигуна. В зв'язку з цим виникає потреба в підвищеній точності реалізації криволінійної траєкторії руху судна з допомогою більш вдосконалених прогностних динамічних моделей обертального руху судна.

Робота [22] присвячена аналізу динамічних моделей обертального руху судна, які характеризують закономірності зміни його курсу при повороті, причому в роботі розглянуто три моделі зміни курсу судна під час його повороту. Зміна курсу судна з незмінною кутовою швидкістю описується першою кінематичною моделлю, а друга та третя моделі базуються на диференціальних рівняннях другого та третього порядку, коли змінною є курс судна. В роботі показано, що найбільш адекватною реальному процесу повороту судна є третя модель його обертального руху, що підтверджено натурними спостереженнями поворотності суден.

Питання ідентифікації судових моделей маневрування розглянуті в роботі [23]. Суднові моделі маневрування використовуються для проведення досліджень маневреності судна та проектування його систем управління рухом, а також вони забезпечують розвиток систем управління судовими тренажерами. В роботі сформована нелінійна модель маневрування судна, яка базується на основі аналізу його гідродинаміки. Оцінка параметрів моделі

проводиться методами теорії ідентифікації систем, а розрахунок її параметрів проводиться алгоритмом, який заснований на розширеній теорії фільтра Калмана. Він мінімізує похибки, які внесені під час процесу вимірювання. Відмічається, що для ідентифікації параметрів експерименту були використані циркуляція та зигзагоподібного маневр, що виконуються імітатором управління судном.

Необхідності перевірки математичних моделей маневрування суден на мілководді з використанням тренажера для вивчення безпеки суден присвячена робота [24]. В роботі наведено декілька прикладів перевірки математичних моделей маневрування суден на мілководді, які базуються на вимірах параметрів руху реальних суден і випробувань в басейні в умовах мілководдя.

Приведені результати тестів на безпеку п'яти фаз маневрування з використанням перевірених математичних моделей маневрування суден для аналізу критеріїв маневрування на мілководді. Запропоновані критерії об'єктивного маневрування для оцінки безпеки на мілководді на основі суб'єктивного судження, пов'язаного з контрольною маржею, яка оцінена більш ніж 3200 капітанами суден та лоцманами для більше 325 симуляційних випробувань та шляхом аналізу результатів дослідження 15 реальних суден.

Основні принципи вибору судноводієм рішень для забезпечення морехідної безпеки при плаванні судна в штормових умовах і методи прогнозу мореплавства викладено та розглянуто в роботі [25]. В роботі також розглянуті сучасні бортові автоматизовані систем поточної оцінки, прогнозу та оптимізації процесу судноводіння та приведені їх характеристики. Відмічено особливості відображення в них інформації, наведено їх функціональні можливості.

Процедура розрахунку моменту часу початку повороту судна на програмний курс з урахуванням його динамічних характеристик поворотності запропонована в роботі [26]. Розглянуто першу динамічну модель обертального руху судна з постійною кутовою швидкістю.

Приведені аналітичні вирази для розрахунку поточного курсу судна,

приросту його координат за час повороту, які необхідні для одержання формули залежності моменту початку повороту судна від різниці курсів до і після його повороту та радіусу циркуляції.

Дослідження динамічної моделі руху судна з урахуванням додаткових нелінійних членів проведено в роботі [27]. Для різних режимів руху судна проведена оцінка адекватності прийнятої моделі. Виявлено, що на біфуркаційну картину динамічної моделі впливає зміна вітру. Введення інтелектуальної складової до алгоритму функціонування автопілоту значно підвищило його ефективність. Завдяки інтелектуальній складовій знизився рівень некерованості судна.

В роботі [28] показано, що поворот судна має дві послідовні фази: відхилення судна від початкового курсу та його одержування для гальмування обертального руху з метою погашення інерції до моменту часу, коли судно досягне нового курсу. Запропоновано на базі експериментального матеріалу формувати перехідну траєкторію повороту судна, як «склейку» двох її фаз «відхилення» та «одержування», які в залежності від приросту курсу при повороті вибираються з експериментальних зразків.

Також показано, що період першої фази «відхилення» залежить як від приросту курсу при повороті, так і від динамічних характеристик поворотності, в той час, як період другої фази «одержування» визначається лише динамічними характеристиками поворотності.

В роботі [29] розглянуто розробку інформаційної системи імітаційного моделювання руху суден, які характеризуються складними динамічними моделями, що враховують аналітичні залежності курсу і швидкості від кута кладки керма і оборотів двигуна. За допомогою такої системи можливо забезпечити новий тип прогнозу маневрів судна та поточний контроль реалізації завданого маневру. Система відображає завдані маневри при фактичному русі судна з одночасною індикацією прогнозованої траєкторії, яка розраховується від реальних вхідних даних датчиків судна.

Спосіб розрахунку характеристик поворотності судна за експериментальними даними викладено в роботі [30]. Показано, що в залежності від динамічної моделі обертального руху судна використовуються різні характеристики поворотності: при найпростішій першій моделі обертальний рух характеризується лише постійною кутовою швидкістю, більш адекватна друга модель, що представлена диференціальним рівнянням другого порядку, в доповнення характеризується постійною часу першого типу, а третя модель, виражена диференціальним рівнянням третього порядку, має в додаток ще й постійну часу другого типу. В статі приведена процедура визначення параметрів поворотності в залежності від типа динамічної моделі обертального руху судна.

В результаті перевірки співпадіння теоретичних моделей з даними експерименту виявилось, що третя динамічна модель обертального руху судна найкраще відповідає експериментальним даним.

В роботі [31] розглядається нелінійна задача утримання морського об'єкту в заданій точці з вибраним курсом, для рішення якої нелінійним фільтром Калмана з локальними ітераціями здійснюється синтез алгоритму, що забезпечує оцінку поточного стану системи. Необхідний закон керування формується в залежності від отриманої оцінки. В статті наведені результати моделювання, згідно яким можливо утримання судна з точністю 4–8 м відносно завданої точки при стабілізації курсу не гірше 2° .

Робота [32] присвячена методу розрахунку тривалості повороту судна на курс ухилення при його розходженні з цілю. Показано, що розрахунок проводиться за визначеними з експерименту параметрами поворотності при завданій величині приросту курсу. В роботі показано, що для розрахунку тривалості повороту потрібно використання другої або третьої моделі. Незалежно від моделі слід визначити тривалість першої та другої фази повороту судна. Одержано трансцендентні рівняння для інтервалів часу тривалості першої та другої фази повороту, рішення яких знаходиться методом простих

ітерацій.

Для другої моделі обертального руху судна рівняння залежать від двох параметрів поворотності, а рівняння третьої моделі, будучи більш складними, залежать від трьох параметрів поворотності. Рівень складності розрахунків потребує використання комп'ютеру.

Об'єктом дослідження в роботі [33] є багато критеріальний алгоритм для планування траєкторії судна, який реалізований на основі АСО. В роботі запропонований новий підхід до рішення проблеми планування шляху для судна, в районі плавання із статичними і динамічними перешкодами. Алгоритмом використовує метод, так званий Оптимізацією колоній мурашок, який базується на колективній поведінці колоній мурашок. В просторі рішень визначається безпечна, оптимальна траєкторія для судна. Проблема розглядається як задача оптимізації, критеріями якої є безпека шляху, довжина шляху, відповідність міжнародним правилам запобігання зіткненням на морі.

Центральною проблемою забезпечення безаварійного судноводіння являється попередження зіткнень суден у прибережних районах інтенсивного судноплавства. Цій проблемі присвячені багаточислені роботи вітчизняних та закордонних вчених.

В роботі [34] розглянуто два основні методи управління суднами в ситуації небезпечного зближення. Перший з них являється локально-незалежний метод, при якому кожне з суден приймає рішення про власний маневр розходження в рамках регламентуючої системи бінарної координації їх взаємодії для попередження зіткнень. Такою системою бінарної координації в даний час є МППЗС-72 в частині маневрування суден.

Суднам приписуються координуючі дії, виходячи з ситуації зближення з кожною із цілей і не враховуючи ситуації зближення між цілями.

При другому методі передбачається повне управління системою суден, що зближуються, зовнішнім управлінцем, який враховує всі парні ситуації зближення суден і визначає загальну стратегію розходження, що включає

взаємоузгодженні зовнішнім управлінцем маневри суден ситуації зближення.

Для обох методів управління суднами при небезпечному зближенні розроблені процедури вибору оптимальних безпечних стратегій розходження, які враховують як навігаційні перешкоди в районі маневрування суден, так і динаміку судна, що маневрує. За допомогою комп'ютера проведено імітаційне моделювання запропонованих методів управління суднами при небезпечному зближенні, яке показало їх коректність.

Так як в процесі розвитку судноводіння, як інструмент попередження зіткнення суден, сформувався метод розходження суден їх локально-незалежним управлінням в ситуації небезпечного зближення, то в даний час він є основним методом розходження суден. Тому основні дослідження по проблематиці попередження зіткнення суден присвячені розвитку даного методу. В подальшому розглянемо основні роботи в цьому напрямі.

Роботи [35, 36] присвячені формалізації процесу розходження суден, як взаємодії конфліктуючих сторін, у яких перетинаються інтереси економічності руху. Аналітичний опис процесу розходження судна із кількома цілями методами теорії оптимального управління з урахуванням вимог МППЗС-72 розглянутий в роботі [35]. Враховуючи розглянуту в роботі формалізацію МППЗС-72, одержана процедура визначення оптимальних керуючих дій.

Поява теорії позиційних диференційних ігор сформувала альтернативний підхід до формалізації процесу розходження. Початкова модель, яка приведена в роботі [35], по цій причині була значно доповнена, що знайшло своє відображення в роботі [36], в якій запропоновано математичну модель формалізації судна і всіх цілей, як динамічної системи. Поточний стан динамічної системи математично описується фазовим вектором, зміна якого в часі відбувається відповідно до диференціальних рівнянь руху. Пошук оптимальних значень параметрів стратегії розходження розглядається методами лінійного програмування, для чого здійснюється лінеаризація нелінійних обмежень за безпекою розходження і врахування навігаційних перешкод.

Недоліком робіт [35, 36] є формалізація процесу розходження суден, як взаємодії конфліктуючих сторін. Очевидно, при виникненні загрози зіткнення суден кожне із них прагне уникнути аварії, а не заощадити час на маневр розходження, прагнучи спонукати до виконання маневру інше судно. Більш того, для ситуацій небезпечного зближення передбачена бінарна координація взаємодії суден, що відображена в МППЗС-72, яка узгоджує маневри ухилення суден від зіткнення.

В роботах [37, 38] викладено метод нелінійної інтегральної інваріантності, який запропоновано для аналітичного опису процесу розходження суден і розробки системи попередження їх зіткнень, чому присвячені роботи [39, 40].

В загальному випадку, як слідує з роботи [38], методом нелінійної інтегральної інваріантності можливе формування стратегії управління динамічною системою, яка забезпечує інваріантність деяких фазових координат керованої системи щодо поточних зовнішніх збурень. В якості таких збурень при формалізації задачі розходження розглядається $2n$ -мірний вектор швидкостей і курсів зустрічних цілей, які ускладнюють рух судна. У цій задачі інваріантними координатами являються відстані від судна до зустрічних цілей. Як стверджується у роботі, за допомогою згаданого методу можна знайти допустиму область безпечних стратегій судна, виходячи з можливих найгірших для процесу розходження значень параметрів руху кожної із зустрічних цілей. Це твердження для практичних ситуацій є більш, чим сумнівним.

Використання методу нелінійної інтегральної інваріантності не являється коректним для формалізації задач попередження зіткнення суден. Це зумовлено тим, що початковій ситуації небезпечного зближення судна з декількома цілями не завжди відповідає стратегія безпечного розходження судна. Навіть при небезпечному зближенні судна з ціллю, у якої більша швидкість, часто зустрічаються ситуації, коли неможливе безпечне розходження.

Для однокрокових стратегій розходження пропонується процедура врахування та алгоритмізації МППЗС-72, яка викладена в роботах [39, 40].

МППЗС-72 застосовується при розходженні тільки пари суден і вони по суті реалізують бінарну координацію, тому розглянута система парних відносин на множині всіх спостережуваних цілей і запропоновані композиції, породжуваних ними функцій. Рішається задача визначення домінантної цілі, і виділяється множина цілей, що зближуються з нею.

Питання застосування маневрів розходження, що містять два елементи обговорюється в роботах [41, 42]. При двокрокових стратегіях використовується одночасна зміна курсу і швидкості або послідовна двократна зміна курсу базового судна через деякий інтервал часу. Проте метод нелінійної інтегральної інваріантності, який розроблено для одноелементних маневрів, виявився неприйнятним для формування області допустимих двоелементних маневрів. Більш того, відсутній опис процедури або хоча б підходу виявлення ситуацій, при яких потрібне застосування двокрокових стратегій. Ще одним недоліком даного методу є відсутність врахування часу в явному вигляді.

Розглянуті двокрокові стратегії розходження характеризуються лише курсом або швидкістю ухилення без визначення моментів часу їх використання. Також не враховується динаміка судна при виборі маневру розходження.

У роботі [43] глибоко і багатобічно досліджені аспекти принципу незалежного управління процесу розходження суден, до яких відносяться теорія взаємодії декількох суден в умовах небезпечного зближення, теоретичний опис динамічних *n*-керованих систем взаємодіючих суден з позицій існування трьох системних станів, що реалізуються залежно від типу їх взаємодії, а також математична модель системи взаємодіючих суден, як ієрархічної багаторівневої системи прийняття рішень.

У роботі розроблений метод синтезу гнучких стратегій розходження, побудованих на мінімаксному підході і не суперечать вимогам МППЗС-72 в частині маневрування, запропонований спосіб формування координаційного і реального каркасів, що описують складну взаємодію судна з навколишніми цілями.

Для формалізації можливих типів взаємодії суден сформована процедура визначення векторного і матричного ситуативних збурень, а також запропонований спосіб екстреної розходження суден в умовах надмірного зближення.

У монографії [44] розглянуто особливості задачі розходження суден в морі шляхом зміщення на паралельну лінію шляху, причому підвищення ефективності запобігання зіткнень може досягатися створенням нових алгоритмів та інтелектуальних систем. В роботі для розходження використовується одна стратегія – зміщення на паралельну лінію шляху під тим або іншим кутом до лінії програмного курсу. Оптимальна стратегія розходження вибирається з множини можливих варіантів по комплексному критерію, котрий відображає вимоги до безпеки, завчасності, помітності та економічності маневру для запобігання зіткнення.

Робота [45] присвячена питанням координованості бінарних взаємодій, як характеристик взаємодій суден при їх небезпечному зближенні, та їх ефективності. В роботі отримано аналітичні вирази для їх чисельної оцінки та запропоновано математичну модель взаємодії групи суден, що небезпечно зближуються, при різних типах управління процесом розходження. Слід зазначити, що взаємодії групи суден не можуть бути формалізовані бінарною координацією, яка передбачає узгодження лише взаємодії лише двох суден. Для групи суден, що небезпечно зближуються, доцільно використання принципу зовнішнього управління процесом розходження.

Питання екстреного маневрування суден для розходження в ситуації надмірного зближення обговорюються у роботі [46]. Проводиться урахування особливостей їх взаємодії, яка виникає при їх небезпечному зближенні та визначає взаємні обов'язки в процесі розходження. Для регламентації взаємодії суден згідно з МППЗС-72 проведена формалізація бінарної координації. При надмірному зближенні суден в ситуації невизначеності їх подальшої поведінки й відсутності координації запропоновано стратегію екстреного розходження.

В роботах [47 – 55] розглянуті питання теорії і практики управління суден в різних ситуаціях і основні аспекти проблеми попередження зіткнення суден. Запропонована множина ситуацій небезпечного зближення суден і кожній ситуації множини у відповідність поставлено маневр розходження.

В напрямку формалізації процесу судноводіння та розходження суден при небезпечному зближенні методами теорії ігор багато років веде плідні дослідження професор Lisowski J. Розглянемо деякі з них [56 – 61].

В статті [56] контроль і управління рухом судна формалізується в вигляді багаторівневої системи управління судновими системами при переході його між портами відправлення і призначення. В розглянутій формальній системі функціональні шари контролю відповідають судновим підсистемам.

В роботах [57 – 59] зазначається, що процес управління рухом судна є багатовимірним з нелінійними і нестационарними характеристиками, а сама задача вибору оптимального маневру розходження відноситься до класу ігрових задач, то, як формалізація так і рішення цієї задачі являється дуже складним завданням, напрямки рішення якого показані в зазначених роботах.

Модель процесу безпечного управління судном у ситуації загрози зіткнення запропонована у статті [60], причому використовується базова модель гри декількох учасників, яка містить нелінійні рівняння стану та включає у себе нелінійні, змінювані в часі обмеження змінних стану. Якість індексу управління грою представлена у формах гри інтегральної оплати та остаточного платежу. Така математична ігрова модель багатокрокової матричної гри у вигляді двоїстої задачі лінійного програмування прийнята в першому наближенні як модель управління процесом розходження. У програмному забезпеченні Matlab / Simulink була розроблена комп'ютерна програма ігрового управління GSC, яка визначає безпечну траєкторію власного судна. В роботі одержані аналітичні результати були перевірені та підтверджені прикладами комп'ютерного моделювання із використанням програми GSC для визначення безпечної траєкторії руху судна у реальній навігаційної обстановці.

Стаття [61] присвячена опису штучної нейронної мережі синтезу безаварійного управління в ситуаціях небезпечного зближення суден в морі, причому в роботі розглянуто шість методів оптимальної теорії ігор.

Показано, що визначення безпечної траєкторії руху власного судна при розходженні з іншими суднами для умов нормальної та обмеженої видимості можливе застосуванням оптимальних алгоритмів керування методами теорії ігор. В роботі приведено порівняння безпечного управління судном у ситуації небезпечного зближення за допомогою методів антагоністичної та кооперативної ігор, були також розглянуті багатокрокові позиційні некооперативні та кооперативні ігри. Отримані теоретичні результати були проілюстровані прикладами комп'ютерного моделювання ситуації зближення судна із вісьмома зустрічними цілями з метою визначення безпечних власних судових траєкторій.

Як раніше зазначалося, формалізація процесу розходження антагоністичною грою не є коректною, так як не відповідає реальній ситуації, в якій взаємодія суден в ситуації небезпечного зближення координується МППЗС-72, невиконання яких може мати кримінальні наслідки.

У роботі [62] наголошується, що основним показником попередження зіткнень суден є індекс ризику їх зіткнення. В роботі аналізуються переваги та недоліки різних методів розрахунку індексу ризику зіткнення суден. Широко використовується модель оцінки індексу ризику зіткнення суден, яка запропонована Keaton J, має недоліки, що можуть бути компенсовані запропонованою в роботі моделлю оцінки ризику зіткнення суден на основі комплексної площини. Для розглянутої моделі розрахунок індексу ризику зіткнення будується для ситуацій зближення суден у вигляді тривимірного зображення просторової кривої індексу ризику, тому для реалізації запропонованої моделі потрібний лише одиночний мікрокомп'ютерний чіп, який доцільно використовувати в системах прийняття рішень по забезпеченню безаварійного судноводіння.

В роботі [63] вказується, що судноводіям бажано мати інформацію про безпечні траєкторії розходження, особливо це актуально для ситуацій небезпечного зближення декількох суден. У роботі наведено декілька способів запобігання зіткнень суден, до яких відносяться оглядові, радіолокаційні і УКХ-радіохвильові. Розглянуто також більш просунуті сучасні методи: використання домену судна, теорії нечітких множин і генетичного алгоритму. Так як використання цих методів коректне в ситуаціях бінарних взаємодій, то їх важче застосувати в ситуаціях небезпечного зближення групи суден. Тому в роботі для попередження зіткнень групи суден запропоновано розподілений локальний Алгоритм пошуку (DLSA), в якому кілька суден спілкуються один з одним методом УКХ - радіохвиль в межах певної області. По інформації, отриманої від сусідніх суден, алгоритм пошуку обчислює ризик зіткнення. Однак, DLSA притаманний синдромом квазілокального мінімуму (QLM), який забороняє судну зміну курсу навіть в ситуації ризику зіткнення. Щоб уникнути синдрому QLM шляхом модифікації функції вартості і збільшення розмірів домену судна алгоритм DTSA використовує список табу для підвищення ефективності Табу Алгоритм пошуку. Порівняльна ефективність алгоритмів DLSA і DTSA була одержана експериментальним шляхом і виявилось, що DTSA перевершив DLSA.

Запропонований метод попередніх домовленостей УКХ- радіохвиль не відповідає вимогам існуючого координатора МППЗС-72 та потребує правового обґрунтування.

Теоретичне обґрунтування та принцип дії автономної суднової системи ухилення від зіткнення СА (Collision avoidance) викладається в роботі [64], в якій також розглядаються вимоги до автономної навігації з урахуванням факторів, що впливають на процес ухилення від зіткнення. В статті вказується, що дослідження по темі автоматизації управління судном можуть бути представлені в класичній або комп'ютерній категоріях.

Класичні підходи засновані на математичних моделях та алгоритмах, а комп'ютерні технології базуються на використанні властивостей штучного інтелекту AI (Artificial Intelligence). Для систем автономного ухилення від зіткнення, що розглядаються в статті, методами штучного інтелекту є нейромережа NN (Neural networks), експертні методи, логіка фузі, еволюційні алгоритми та їх комбінація – гібридні системи (hybrid system).

В цілому робота має інформаційний характер про існуючі методи попередження зіткнення суден без конкретних практичних рекомендацій, що значно знижує її практичну цінність.

Для забезпечення безпеки судноплавства СУРС, як правило, не має технічних можливостей контролювати рух суден на ділянках скупчення суден, про що зазначається в роботі [65], в якій запропоновано новий фузі-метод, як додаток до засобів можливості ухилення від зіткнення системи СУРС/AIC. Данні СУРС та AIC вводяться в Морську географічну інформаційну систему MGIS (Marine Geographic Information System), що дає змогу розрахувати данні про область знаходження судна та інерційних сил, що діють на судно. Одержана інформація також використовується для визначення моделі захисного кола і небезпечного індексу. З використанням аналітичної моделі морської системи GIS може бути отримано точне прогнозування часу і позиції зіткнення. Завдяки запропонованому методу оператор СУРС одержує можливість прийняття рішень щодо попередження зіткнення суден.

Для локально-незалежного управління в статті [66] запропонований спосіб розходження судна з двома небезпечними цілями маневром послідовних ухилень, причому перше ухилення проводиться від найближчої цілі і після найкоротшого зближення судна з нею здійснюється наступне ухилення судна в протилежну сторону від другої цілі. У роботі одержані аналітичні вирази для розрахунку параметрів маневру розходження, до яких відносяться перший і другий курси ухилення, а також момент часу зміни курсів. У статті запропоновано приклад розрахунку параметрів маневру розходження

комп'ютерною програмою і приведені результати його програвання.

У роботі [67] розглянуто принцип локально-незалежного управління процесом розходження суден, що небезпечно зближуються. Показано, що для безпечного розходження суден необхідна координація їх маневрів розходження за допомогою узагальненого бінарного координатора, яким є МППЗС-72. Запропонований спосіб синтезу повної стратегії розходження оперуючого судна, яка передбачає наявність другої цілі в ситуації небезпечного зближення і враховує можливі варіанти розвитку ситуації зближення і вимоги системи бінарної координації.

Істинна траєкторія розходження судна з ціллю при небезпечному зближенні і її форми залежно від сторони ухилення розглянуті в роботі [68]. Показано, що двом формам істинної траєкторії розходження в загальному випадку відповідають чотири форми відносної траєкторії розходження, причому приведені чисельні приклади параметрів ситуації зближення, при яких реалізується кожна з форм відносної траєкторії. Одержано аналітичні вирази, за допомогою яких можливий розрахунок моментів часу повороту судна для реалізації маневру розходження, залежні від показників форми відносної траєкторії.

У роботі [69] для ситуації зближення судна з двома цілями запропоновано спосіб формування областей неприпустимих значень параметрів руху судна щодо кожної з них. Одержана процедура оцінки небезпеки виниклої ситуації зближення по кожній цілі застосуванням сформованих областей.

Показана можливість вибору маневру розходження загальним ухиленням від двох цілей за допомогою областей неприпустимих значень параметрів руху судна. Як приклад розглянуті три ситуації зближення судна з двома цілями.

Як відзначається в статі [70], у районах інтенсивного судноплавства часто виникає ситуація зближення судна з двома небезпечними цілями, в якій судно не може безпечно розійтися з обома цілями загальним маневром, тому виникає необхідність проведення двох послідовних маневрів розходження з кожною із

цілей окремо.

У статті розглянута ситуація небезпечного зближення судна з двома цілями, причому розходження з першою цілю судно виконує зміною курсу, а з другою – зміною швидкості.

Безпечне розходження судна передбачає спочатку ухилення від першої (найближчої) цілі курсом, який вибирається так, щоб відносний курс забезпечував рівність дистанції найкоротшого зближення судна з першою цілю з гранично -допустимою дистанцією.

Момент часу завершення розходження з першою цілю і початку гальмування для розходження з другою цілю визначається як момент часу досягнення траверсної відстані з першою цілю, причому на одержаний момент часу передбачається визначення відстані до другої цілі, а потім порівняти його з гранично - допустимою дистанцією. У разі переваги гранично - допустимої дистанції слід збільшити значення приросту курсу ухилення до тих пір, поки дистанція до другої цілі стане рівною або більше гранично-допустимої дистанції. Для даної відстані визначається пеленг на другу ціль, причому зближення з другою цілю при даному курсі є небезпечним.

Маневр швидкістю для розходження з другою цілю передбачає перевірку можливості безпечного розходження зупинкою судна в результаті гальмування. Для цього слід визначити вибіг судна і інтервал часу до його зупинки з урахуванням режиму гальмування, після чого здійснюється порівняння дистанції найкоротшого зближення судна з другою цілю та гранично-допустимою дистанцією, і у разі їх рівності безпечне розходження з другою цілю зупинкою судна можливе. Часто розходження можливе зниженням швидкості судна до певного значення.

У статті приведені аналітичні вирази розрахунку тривалості перехідного процесу активного гальмування і величини пройденої відстані за цей час, які забезпечують розрахунок параметрів маневру розходження судна з другою цілю зниженням швидкості.

Запропонований спосіб розходження судна з двома небезпечними цілями послідовними змінами курсу і швидкості реалізований в комп'ютерній програмі. Як приклад була розглянута ситуація із заданими параметрами небезпечного зближення судна з цілю.

Процедура оцінки небезпеки зближення судна і цілі за допомогою областей неприпустимих параметрів руху судна запропонована в роботі [71]. При небезпечному зближенні за допомогою згаданої області можна вибрати маневр розходження зміною курсу судна, якщо його швидкість більше швидкості цілі. При швидкості судна менше швидкості цілі розглянуто спосіб визначення курсу ухилення судна для попередження можливого зіткнення. Якщо попередження зіткнення не можна запобігти зміною курсу через обмеженість акваторії, то передбачене формування області неприпустимих значень параметрів руху судна, за допомогою якої можна вибрати маневр розходження зміною швидкості. Показана реалізація пропонованих процедур за допомогою комп'ютерної програми.

В роботі не розглянуто маневру одночасної або послідовної зміни курсу та швидкості судна для безпечного розходження з ціллю в ситуації небезпечного зближення.

Останні декілька років співробітниками національного університету «Одеська морська академія» опубліковано роботи по дослідженню зовнішнього управління процесом розходження суден, деякі з них розглянемо нижче.

У роботі [72] для оцінки небезпеки ситуації зближення суден запропонований узагальнений спосіб формування областей неприпустимих значень параметрів їх руху. Одержана формалізація меж областей неприпустимих значень параметрів руху суден, тобто їх курсів і швидкостей при локально-незалежному і зовнішньому управлінні. У разі локально-незалежного управління процесом розходження суден, як правило, маневрує одне з суден, тому розглядаються області неприпустимих значень курсів і швидкостей маневруючого судна для вибору маневру його розходження зміною

курсу або швидкості.

При зовнішньому управлінні суден в ситуації небезпечного зближення в загальному випадку міняють параметри руху обидва судна, і існує три типи областей: область неприпустимих значень курсів одного і другого судна, область неприпустимих значень швидкостей одного і другого судна, а також область неприпустимих значень курсів одного судна і швидкостей другого судна. За допомогою кожної із згаданих областей можлива оцінка небезпеки ситуації їх зближення, а також вибір відповідного області безпечного маневру розходження.

Метод розрахунку меж області неприпустимих значень швидкостей двох суден, що зближуються, запропонований в статті [73]. З його допомогою можлива оцінка небезпеки ситуації зближення суден і вибір маневру розходження зміною швидкостей при зовнішньому управлінні процесом їх розходження з урахуванням режиму їх гальмування. У роботі розглянута ситуація розходження суден при зниженні їх швидкостей пасивним гальмуванням. Приведені необхідні аналітичні вирази і чисельний приклад.

Стаття [74] присвячена опису способу формування областей неприпустимих значень курсу одного судна і швидкості іншого судна для оцінки небезпеки ситуації їх зближення і при небезпечному зближенні – вибору маневру розходження. Одержано вирази меж областей неприпустимих значень курсу одного з суден і швидкості іншого судна при зовнішньому управлінні процесом розходження.

Також розглянуті особливості області з урахуванням інерційно-гальмівних характеристик судна, що знижує швидкість. Приведені чисельні приклади.

Принцип зовнішнього управління процесом розходження суден розглянуто в роботі [75] і вказані його основні переваги. Показано, що основними методами зовнішнього управління процесом розходження суден є застосування області небезпечних курсів суден, що зближуються, форма якої залежить від співвідношення швидкостей суден, що зближуються, і їх області небезпечних

швидкостей. З їх допомогою можливі оцінка небезпеки ситуації зближення і вибір маневру розходження. При виборі безпечних курсів розходження суден за допомогою області небезпечних курсів запропонована процедура врахування точкової навігаційної перешкоди.

Для ситуацій зближення судна з ціллю в роботі [76] запропонована процедура оцінки небезпеки зближення за допомогою області неприпустимих параметрів руху судна. Якщо швидкість судна більше швидкості цілі, то при небезпечному зближенні за допомогою згаданої області можна вибрати маневр розходження зміною курсу судна. У разі, коли швидкість судна менше швидкості цілі, розглянуто спосіб визначення курсу ухилення судна для попередження можливого зіткнення. Показана реалізація пропонуванних процедур за допомогою комп'ютерної програми. Причому приведені чисельні приклади.

Аналітичні вирази перетворення межі безпечної області з простору відносного руху в простір істинного руху запропоновані в роботі [77]. Приведені результати дослідження властивостей віртуальних областей, які дозволяють використовувати їх в процесі розходження. Запропонована процедура відображення віртуальних областей на електронній карті і розроблений спосіб розходження судна з декількома небезпечними цілями за наявності суден, що заважають, і навігаційних небезпек, відмінний наочністю, оперативністю і простотою.

Основи взаємозв'язку форм істинної і відносної траєкторій розходження розглянуті в роботі [78], причому показано, що двом формам істинної траєкторії розходження в загальному випадку відповідає чотири форми відносної траєкторії. Указується, що форма відносної траєкторії розходження визначає вид аналітичних виразів розрахунку параметрів стратегії розходження.

Для однієї з форм відносної траєкторії розходження визначені моменти часу повороту судна для реалізації безпечного маневру попередження зіткнення. Приведений приклад з використанням комп'ютерної програми.

Аналітичні вирази меж областей небезпечних курсів і небезпечних швидкостей, за допомогою яких здійснюється формування вказаних областей при зовнішньому управлінні процесом розходження суден приведені в роботі [79]. Розглянуто процедури оцінки небезпеки зближення суден і маневру їх розходження за допомогою області небезпечних курсів і області їх небезпечних швидкостей.

Одержані формули меж області неприпустимих значень курсів одного судна і швидкостей другого судна і запропонована процедура її графічного відображення. Запропоновано спосіб вибору оптимального сумісного маневру розходження.

У роботі [80] розглянуто ситуацію небезпечного зближення суден, яка вимагає проведення маневру розходження, характер якого визначається системою координатії їх взаємодії і областю взаємних обов'язків, що реалізувалася. Показано, що для попередження зіткнення кожному з суден системою координатії визначається певний тип поведінки (маневрування або збереження параметрів руху), тому оперуюче судно формує гнучку стратегію розходження, яка містить пріоритетний маневр, що враховує тип поведінки взаємодіючих суден, і резервний маневр для випадку ігнорування партнером наказаних обов'язків.

Для попередження зіткнення переважним є маневр зміни курсу судна. Тому розрахунок параметрів маневру ухилення проводиться з урахуванням динамічних характеристик судна, що маневрує. Приведена динамічна модель обертального руху судна, яка найбільш підходить для розрахунку параметрів маневру ухилення судна.

Форми істинної траєкторії розходження і форми відносної траєкторії розходження для випадку ухилення судна з поверненням на програмну траєкторію руху досліджені в роботі [81]. Показано, що при швидкості судна більшої швидкості цілі форми істинної і відносної траєкторій співпадають. Для випадку, коли швидкість судна менше швидкості цілі визначена залежність

відносної траєкторії розходження від істинної траєкторії. Досліджено закономірності відображення траєкторії судна ухиленням управо в множину форм відносних траєкторій.

Комбінований маневр розходження судна з двома небезпечними цілями послідовною зміною курсу, а потім зниженням швидкості пасивним гальмуванням розглянутий в роботі [82]. Одержані аналітичні вирази і алгоритм розрахунку параметрів безпечного маневру розходження. Для ситуацій розходження судна з двома цілями комбінованим маневром послідовної зміни курсу і швидкості запропонована процедура формування області небезпечних значень параметрів стратегії розходження.

Одержано вирази для формалізації меж області неприпустимих значень курсів і швидкостей судна комбінованого маневру при зниженні швидкості пасивним гальмуванням. Приведено чисельний приклад формування області неприпустимих параметрів комбінованого маневру розходження судна зниженням швидкості пасивним гальмуванням.

У роботі [83] запропоновано спосіб формування області неприпустимих значень курсу одного з суден і швидкості іншого судна з урахуванням його інерційно-гальмівних характеристик при зовнішньому управлінні процесом їх розходження. Залежно від параметрів ситуації небезпечного зближення і режиму гальмування судна одержано аналітичні вирази для розрахунку меж області неприпустимих значень курсу і швидкості суден, що зближуються.

Представлені результати застосування комп'ютерної програми для формування області небезпечних курсів одного судна і швидкостей другого судна з обліком інерційно - гальмівних характеристик судна, що знижує швидкість. Показані приклади вибору безпечної стратегії розходження суден з урахуванням активного і пасивного гальмування.

В роботі [84] зазначається, що на принципах повного зовнішнього управління процесом розходження суден засновані підходи формування безпечних траєкторій руху суден з допомогою експертних знань, які

постачаються судноводіям та службам руху суден. У статті також пропонується процедура планування траєкторій руху суден із використанням спеціалізованих алгоритмів їх узгодження шляхом попередніх домовленостей, які проводяться поки не буде знайдено прийнятне для всіх суден рішення, яке підпорядковуватиметься правилам запобігання зіткнень та включає у себе динамічну модель всіх суден та проведення переговорів з метою оптимізації траєкторій без зовнішнього управління.

Згадана процедура тестується у даний час моделюванням на декількох випробувальних стендах. Оптимальне рішення досягається після декількох раундів переговорів, та забезпечує безпечні траєкторії розходження, як показують перші результати моделювання.

Роботи [85–94] виконанні автором особисто або в співавторстві і присвячені питанням зовнішнього управління процесом розходження суден з допомогою областей неприпустимих значень параметрів руху суден, що зближаються, з урахуванням їх інерційних характеристик поворотності та гальмування.

1.2. Обґрунтування вибору напрямку дисертаційного дослідження

Як витікає з аналізу літератури попереднього розділу, найбільш актуальним аспектом забезпечення безпеки судноводіння являється попередження зіткнень суден при їх плаванні в стислих водах шляхом розробки нових та удосконалення існуючих методів визначення безпечних маневрів розходження суден в ситуаціях небезпечного зближення. При плаванні суден в стислих водах виникають ситуації небезпечного зближення трьох і більше суден, при яких вибір маневру безпечного розходження існуючими методами неможливий. Ця обставина обумовлює необхідність розробки нових методів оперативного визначення параметрів безпечного маневру розходження зміною параметрів руху обох суден, використовуючи відповідні області неприпустимих значень

параметрів руху суден.

При управлінні рухом суден в районі дії СУРС в ситуації їх небезпечного зближення можливе використання повного зовнішнього управління процесом розходження за допомогою областей небезпечних значень параметрів руху суден.

З урахуванням вищезазначеного, визначена тема дисертаційного дослідження, яка передбачає розробку методу вибору сукупного безпечного маневру розходження зміною курсу одного судна і зниженням швидкості іншого активним або пасивним гальмуванням при зовнішньому управлінні їх процесом розходження. Для цього слід сформулювати спосіб синтезу областей небезпечних значень курсів першого судна та швидкостей другого судна.

1.3. Висновки за першим розділом

Перший розділ присвячений аналізу літературних джерел, на базі якого визначені основні напрями вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння.

Було встановлено, що основними напрямками рішення проблеми підвищення безпеки судноводіння є забезпечення необхідного рівня точності визначення позиції судна та кількісна оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах, розробка методів більш ефективного і безпечного плавання судна в стислих водах моделюванням його руху та попередження зіткнень суден у прибережних районах плавання.

Завдяки проведеному аналізу було одержано висновок про те, що важливим напрямом рішення вказаної проблеми є подальше вдосконалення методів попередження зіткнень суден при зовнішньому управлінні процесом розходження з використанням процедур та способів оперативного визначення параметрів маневру розходження.

В розділі обґрунтовано основний напрям дисертаційного дослідження, який передбачає розробку способу визначення параметрів спільного маневру розходження суден зміною курсу одного із суден з одночасним зниженням швидкості іншого при зовнішньому управлінні процесом їх розходження.

Як об'єкт дослідження є попередження зіткнення суден, а предметом дослідження являються методи вибору безпечного маневру розходження при його зовнішньому управлінні.

Аналіз основних напрямків забезпечення та підвищення безпеки судноводіння та вибір напрямку дослідження наведено у роботах [1, 2, 7, 8, 9].

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

2.1. Визначення тематики дисертаційного дослідження

Як показав аналіз літературних джерел по тематиці забезпечення безаварійного судноводіння, проведений в першому розділі, одним з найбільш актуальних аспектів забезпечення безпеки судноводіння є попередження зіткнень суден при плаванні в стислих водах, чим обумовлено вибір теми дисертаційного дослідження, яке присвячене формуванню області небезпечних курсів одного судна і швидкості іншого для вибору маневру їх розходження зміною курсу і швидкості в разі їх зовнішнього управління процесом розходження, причому слід ураховувати наявність третього судна, яке може заважати розходженню.

Вирішення цієї задачі потребує, перш за все, розробки методу синтезу області небезпечних курсів одного судна і швидкості іншого, які небезпечно зближуються, що потребує пошуку аналітичних виразів меж області небезпечних курсів та швидкостей. По-друге, необхідно забезпечити графічне відображення області на екрані монітору і розробити спосіб вибору безпечного маневру розходження зміною курсу одного судна і швидкості іншого. Для забезпечення оперативності і простоти запропонованого способу розроблені аналітичні алгоритми та процедури необхідно реалізувати у комп'ютерній програмі.

Таким чином, проблема забезпечення безаварійного розходження суден за допомогою сучасних способів є актуальною, що обумовлює вибір теми дисертації «Попередження зіткнення суден застосуванням спільного маневру розходження».

Для пошуку вирішення поставленої задачі необхідно розглянути його основні етапи:

1. За допомогою методів системного підходу здійснити декомпозицію основної задачі дисертаційного дослідження на декілька допоміжних задач.

2. Розробити метод синтезу області небезпечних курсів одного судна і швидкості іншого, для чого попередньо формалізувати аналітичні вирази її меж.

3. Для вибору сумісного маневру безпечного розходження зміною курсу одного судна і швидкості іншого сформулювати спосіб комп'ютерного графічного відображення області небезпечних курсів і швидкостей.

4. Для перевірки коректності запропонованого в дисертації методу розходження суден розробити комп'ютерну імітаційну програму програвання вибраного сукупного маневру розходження.

Актуальність тематики дисертаційного дослідження обумовлена необхідністю підвищення рівня безпеки судноводіння і вдосконалення методів розходження суден.

Наукову новизну дослідження може скласти розробка методу синтезу області небезпечних курсів одного судна і швидкості іншого і вибір безпечного маневру розходження з урахуванням третього судна.

Економічну ефективність дисертаційного дослідження може скласти можливе скорочення збитків від зниження рівня аварійності попередженням зіткнень суден.

Реалізація проведеного наукового дослідження можлива перевіркою імітаційним моделюванням коректності одержаних теоретичних результатів дисертації.

Об'єктом дослідження дисертації є процес розходження суден.

Предметом дослідження є методи визначення безпечного маневру розходження.

2.2. Методи дослідження дисертаційної роботи

Технологічна карта методологічного забезпечення дисертаційного дослідження показана на рисунку 2.1. Вона характеризує методологічний алгоритм рішення головної задачі дисертаційної роботи.

Сучасними запитами практики являється необхідність підвищення рівня безпеки судноводіння і вдосконалення методів розходження суден при їх зовнішньому управлінні. Інформаційні технології і засоби судноводіння. Оптимізація процесу розходження суден.

Метою дослідження по темі дисертаційної роботи є підвищення безпеки судноводіння шляхом вдосконалення методів розходження суден з допомогою областей неприпустимих значень їх параметрів руху при використанні принципу зовнішнього управління процесом розходження.

В якості наукової гіпотези дослідження прийнято допущення про існування можливості зменшення ризику зіткнення суден застосуванням сумісного маневру розходження зміною курсу одного судна і зниженням швидкості іншого.

Головна задача дослідження полягала в удосконаленні методу вибору безпечних сумісних маневрів розходження суден з допомогою областей неприпустимих значень їх параметрів руху при наявності третього судна, що заважає.

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

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

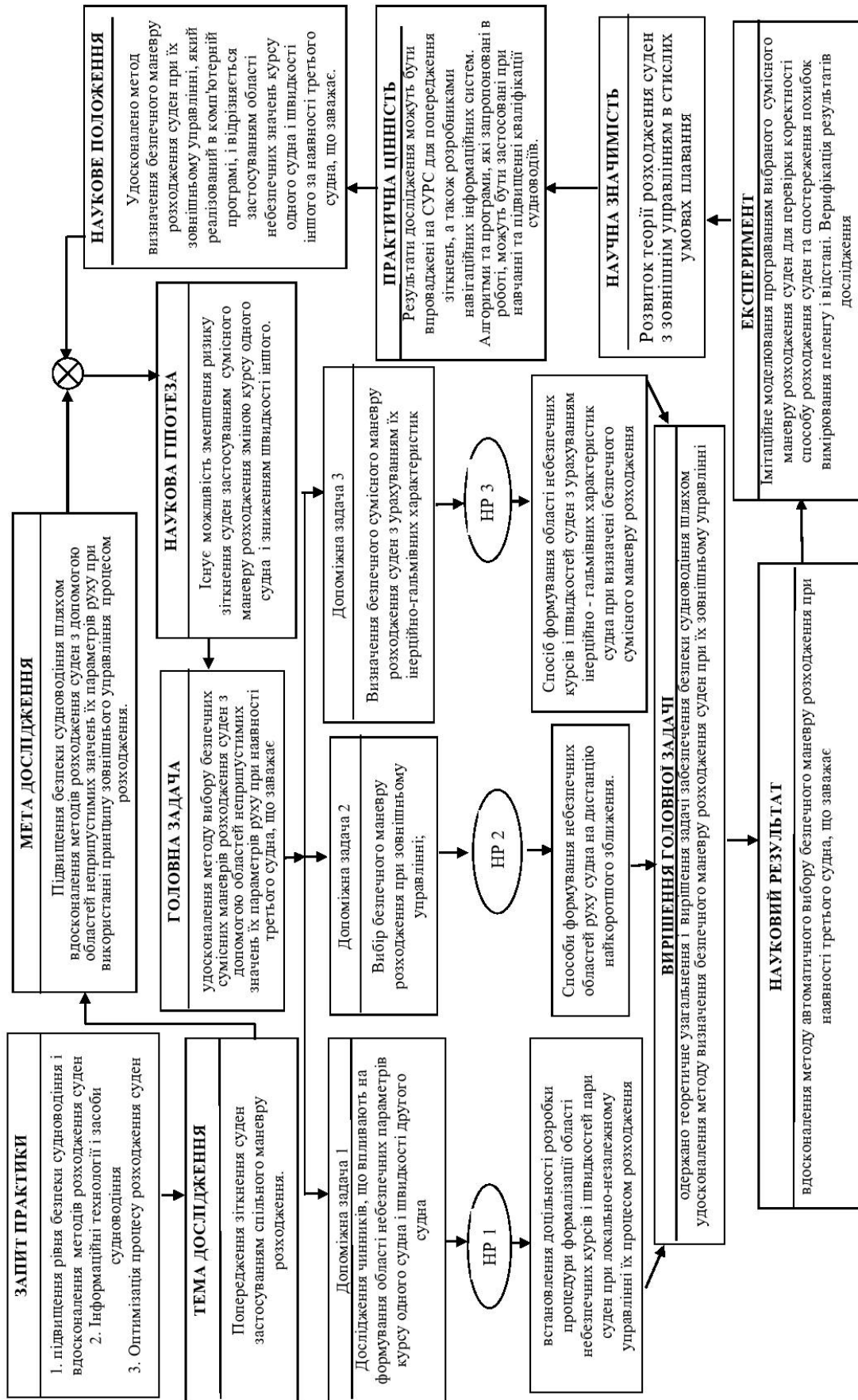


Рис. 2.1. Технологічна карта наукового дослідження

Рішення першої допоміжної задачі потребує знаходження аналітичних виразів, які формалізують межі області небезпечних курсів і швидкостей суден з урахуванням відношення їх швидкостей. При цьому вважається, що часом повороту першого судна і часом зниження швидкості другого судна можна знехтувати. Для користування згаданими областями потрібно розробити комп'ютерну програму для графічного відображення областей на площині, вісями якої є курс першого судна і швидкість другого судна. Таке графічне представлення областей небезпечних курсів першого судна і швидкостей другого судна дає змогу оперативно і просто здійснити вибір безпечного сумісного маневру розходження, для цього достатньо вибрати довільну точку межі області. Координати цієї точки являються параметрами сумісного маневру розходження.

Рішення другої допоміжної задачі – вибір безпечного маневру розходження при зовнішньому управлінні. Принцип повного зовнішнього управління застосовують системи управління рухом суден для їх розходження. За ситуації, коли розходження суден зміною курсів ускладнено та показано, що може бути використана область небезпечних швидкостей суден для вибору маневру розходження зміною їх швидкостей, розглянуто спосіб формування області небезпечних швидкостей і її застосування для аналізу ситуації зближення суден і, у разі потреби на зовнішнє управління.

Урахування інерційно-гальмівних характеристик судна при визначенні безпечного сумісного маневру розходження є третьою допоміжною задачею дисертаційного дослідження. При цьому слід формувати області небезпечних курсів і швидкостей з розрахунком їх меж окремо для зниження швидкості другим судном активним і пасивним гальмуванням. Визначення безпечного сумісного маневру розходження виконується аналогічно попередньому випадку вибором точки, яка належить границі області. Для визначення часу повороту першого судна та приросту його координат за цей час слід використати одну із моделей обертального руху.

Тому необхідно розглянути основні динамічні моделі обертального руху та визначитися з робочою моделлю, враховуючи її складність та адекватність реальному процесові повороту.

Головною задачею дослідження є вибір безпечного маневру розходження за допомогою областей неприпустимих значень їх параметрів руху при наявності третього судна, що заважає. Для вирішення головної задачі потрібно знайти умови безпечного розходження третього судна з першим та другим суднами при виконанні їх сумісного маневру зміною курсу та зниження швидкості. Програмно вибір маневру має відбуватись за допомогою меж області, причому потрібно виводити значення параметрів маневру розходження на інформаційну панель. Програма повинна розраховувати дистанції найкоротшого зближення третього судна з першим та другим суднами з урахуванням вибраного маневру розходження. Одержані значення дистанцій найкоротшого зближення також виводяться на екран для користувача. Маневр розходження є безпечним, якщо обидві дистанції найкоротшого зближення більші гранично - допустимої дистанції зближення

Як раніше зазначалося, для реалізації пропонованого метода вибору маневру розходження слід розробити імітаційну програму, що містить окремі модулі розрахунку меж області і її відображення на екрані монітора для вибору безпечного маневру розходження суден з подальшим його програванням. Слід зазначити, що імітаційну програму можна використати для розробки навігаційної інформаційної системи для попередження зіткнень суден при їх зовнішньому управлінні.

Для імітаційної програми слід розробити наступні основні модулі:

- модуль генерування ситуації небезпечного зближення двох та трьох суден;
- модуль формування областей небезпечних курсів першого судна і швидкостей другого судна, розрахунку її меж і графічного відображення;
- модуль розрахунку параметрів безпечного сукупного маневру

розходження зміною курсу одного судна і зниженням швидкості іншого, причому повинно бути передбачено два варіанти вибору маневру розходження з використанням зниження швидкості другого судна активним і пасивним гальмуванням;

– модуль імітаційного програвання вибраного сумісного маневру розходження з допомогою комп'ютерної графіки.

В результаті рішення кожної з допоміжних задач були одержані відповідні наукові результати НР1, НР2 і НР3:

– науковим результатом першої складової задачі НР1 є встановлення доцільності розробки процедури формалізації області небезпечних курсів і швидкостей пари суден при локально-незалежному управлінні їх процесом розходження;

– способи формування небезпечних областей руху судна на дистанцію найкоротшого зближення є науковим результатом НР2 другої складової задачі;

– спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей суден з урахуванням інерційно - гальмівних характеристик судна при визначенні безпечного сумісного маневру розходження є науковим результатом НР3 третьої складової задачі.

Для перевірки результатів дисертаційного дослідження в частині коректності сукупного маневру розходження зміною курсу одного судна і зниженням швидкості іншого при застосуванні другим судном активного та пасивного гальмування за допомогою розробленої імітаційної комп'ютерної програми слід провести моделювання маневрів розходження.

Прийнята наукова гіпотеза про існування можливості зменшення ризику зіткнення суден застосуванням сумісного маневру розходження зміною курсу одного судна і зниженням швидкості іншого при їх зовнішньому управлінні підтверджена одержаними в дисертаційній роботі теоретичними результатами та імітаційним моделюванням.

Проведеному дисертаційному дослідженню властива практична

значущість, яка полягає у тому, що його результати можуть бути впроваджені на СУРС для попередження зіткнень, а також розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління суднами.

Одержані в роботі теоретичні результати і програми можуть бути застосовані при навчанні і підвищенні кваліфікації судноводіїв, що визначає практичну цінність результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати, що одержані в дисертаційному дослідженні, і проведене імітаційне моделювання визначають наукове положення роботи, яке має наступне формулювання:

вдосконалення методу автоматичного вибору безпечного маневру розходження при наявності третього судна, що заважає

2.3. Характеристика методики проведення дослідження

Змістом даного підрозділу є стислий виклад методики проведення дослідження по темі роботи з характеристикою використаних для цього методів.

Згідно з рекомендаціями по організації і проведенню наукових досліджень, методами дедукції потрібно проаналізувати основні підходи рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння, що дає можливість вибрати основний напрям і тему дисертаційного дослідження.

Другим етапом роботи є декомпозиція методами дослідження операцій головної задачі дисертації на три незалежні складові задачі, за допомогою яких також забезпечується методологічне обґрунтування дослідження.

Надалі необхідно знайти аналітичні вирази для межі області небезпечних курсів і швидкостей суден з урахуванням відношення їх швидкостей, виходячи з умови рівності дистанції найкоротшого зближення суден та гранично-допустимої дистанції зближення. Так як дистанції найкоротшого зближення суден залежить від курсу першого судна та від швидкості другого судна, які є

параметрами маневру розходження, а гранично-допустима дистанція зближення являється константою, то з одержаної рівності виводиться залежність між курсом першого судна і швидкістю другого судна, яка і є рівнянням межі області небезпечних курсів і швидкостей суден. Одержана таким чином область використовується для визначення безпечного сумісного маневру розходження, якщо час повороту и гальмування суден незначний і ним можливо знехтувати. В разі значного часу гальмування другого судна слід розробити процедуру формування області, причому алгоритм формування має відрізнятися від попереднього. Для врахування впливу інерційно-гальмівних характеристик другого судна на можливість розходження в вибраній гранично-допустимій дистанції зближення потрібно використовувати аналітичні вирази характеристик процесів активного і пасивного гальмування.

Черговим етапом виконання дисертаційної роботи є розробка способу врахування третього судна, яке може заважати безпечному розходження першого і другого суден. Для вирішення чергового етапу слід розробити аналітичну процедуру визначення дистанцій найкоротшого зближення третього судна з першим та другим суднами під час їх розходження. Якщо ці дистанції більші, ніж гранично-допустима дистанція зближення, то вибраний за допомогою області небезпечних значень курсу одного судна і швидкості іншого сумісний маневр являється допустимим, так як забезпечує безпечне розходження всіх трьох суден.

Потім необхідно розробити спосіб комп'ютерного відображення сформованої області небезпечних значень курсу і швидкості суден та сформуванню процедури визначення параметрів безпечного маневру розходження по вибраній точці межі сформованої області.

Потрібно передбачити розрахунок підмножини курсів першого судна, які ведуть до небезпечного зближення з третім судном, як і підмножини швидкостей другого судна, що не забезпечують його безаварійне розходження з третім судном. Виявлені обмеження курсу першого судна і швидкості другого

судна необхідно відобразити на графічному представленні області небезпечних значень курсу і швидкості суден для оперативного вибору сукупного маневру розходження безпечного для всіх трьох суден.

Наступним етапом роботи є розробка комп'ютерного модуля програвання сумісного маневру розходження зміною курсу одного судна і зниженням швидкості іншого при застосуванні другим судном активного та пасивного гальмування. З допомогою імітаційного моделювання процесу розходження суден необхідно встановити коректність розроблених в роботі методів визначення параметрів безпечного маневру розходження в ситуаціях небезпечного зближення двох та трьох суден, коли третє судно може заважати.

2.4. Висновки за другим розділом

В другому розділі дисертаційної роботи розглянуто питання вибору теми дослідження і його основних напрямів. Приведена технологічна карта дисертаційного дослідження, яка відображає методологічну структуру дисертації, та приведено методологічне забезпечення роботи.

Мета дисертаційного дослідження і його головна задача вказані у технологічній карті, в ній показана декомпозиція головної задачі на три допоміжні задачі. Запропонована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження по темі дисертації, вказана наукова новизна роботи, яка одержана при рішенні допоміжних задач.

Значущість і практична цінність дисертаційного дослідження також показані у другому розділі. Сформульоване основне наукове положення роботи та стисло викладена методика рішення допоміжних задач, причому в методиці вказані основні етапи виконання наукового дослідження по темі дисертації, і вона являється узагальненим методологічним алгоритмом виконання наукового дослідження по темі дисертації, в якому передбачено теоретичні розробки, натурні спостереження та імітаційне комп'ютерне моделювання.

РОЗДІЛ 3. УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН

3.1. Дослідження чинників, які впливають на формування області небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна та вибору безпечного маневру розходження

Для розв'язання першої допоміжної задачі (дослідження чинників), на наш погляд, слід розглядати пару суден з позицій безпечного руху, то слід враховувати, що загроза зіткнення виникає у тому випадку, коли дистанція між рухомими суднами менше гранично - допустимої дистанції зближення. Для попередження зіткнення необхідно прогнозувати можливе значення дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ (рисунок 3.1) і зіставляти його з гранично - допустимою дистанцією $D_{\text{доп}}$, яка забезпечує безпечне розходження. З рисунка 3.1 виходить:

$$D_{\min} = \Delta_n D \sin(K_{\text{от}} - \alpha), \quad (3.1)$$

Де Δ_n - співмножник, що забезпечує позитивне значення $D_{\min}$;

α і D - відповідно пеленг і дистанція між суднами;

$K_{\text{от}}$ - відносний курс.

З рис. 3.1 видно, що момент часу досягнення значення $D_{\min}$, - час найкоротшого зближення $T_{\min}$, визначається виразом:

$$T_{\min} = \frac{D \cos(K_{\text{от}} - \alpha)}{V_{\text{от}}}, \quad (3.2)$$

де $V_{\text{от}}$ - відносна швидкість.

Знайдемо поточні значення дистанції $D_{\min}$ і часу $T_{\min}$ найкоротшого зближення в довільний момент часу $t < T_{\min}$, вважаючи, що параметри руху суден є незмінними, тобто $K_{\text{от}}$ і $V_{\text{от}}$ постійні. Поточні значення пеленга α_t і дистанції D_t в процесі руху судна змінюються, причому з рис. 3.1 виходить:

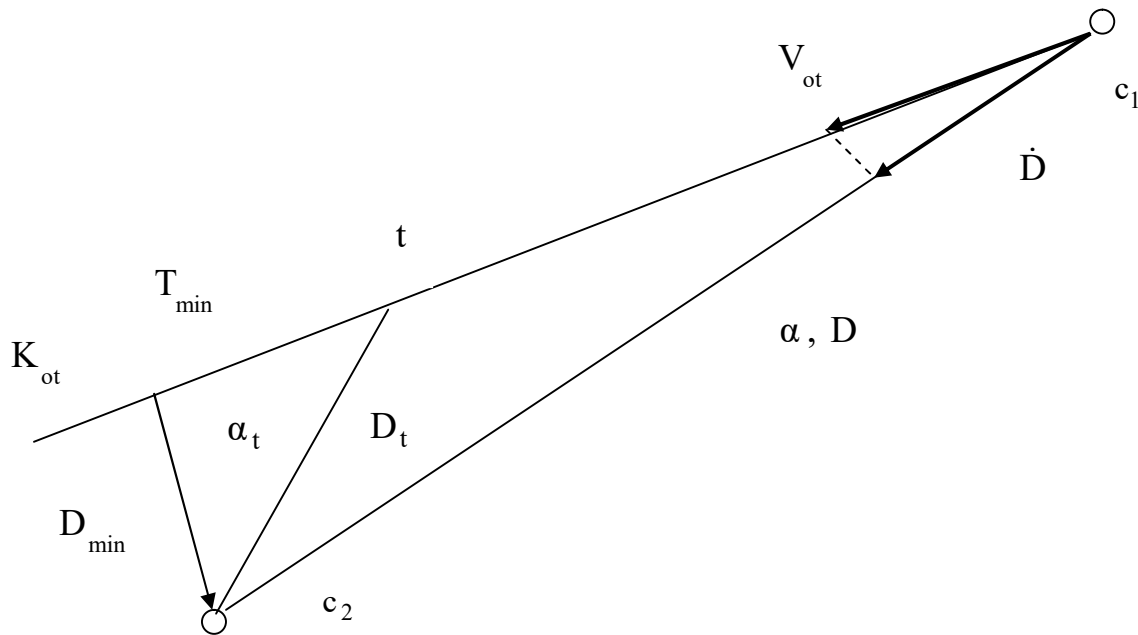


Рисунок 3.1 – Визначення величин $\dot{D}$ і $D_{\min}$

$$D_t = \sqrt{V_{\text{от}}^2 t^2 + D^2 - 2DV_{\text{от}} t \cos(K_{\text{от}} - \alpha)},$$

$$\alpha_t = K_{\text{от}} + \arcsin \frac{D_{\min}}{D_t}, \text{ а також}$$

$$\alpha_t = K_{\text{от}} + \arccos \frac{V_{\text{от}} (T_{\min} - t)}{D_t}.$$

Тому $D_{\min} = D_t \sin(K_{\text{от}} - \alpha_t)$ і, підставляючи перший вираз для α_t , одержимо:

$$D_{\text{mint}} = D_t \sin(K_{\text{ot}} - K_{\text{ot}} - \arcsin \frac{D_{\text{min}}}{D_t}) = D_{\text{min}}.$$

У свою чергу,

$$T_{\text{mint}} = \frac{D_t \cos(K_{\text{ot}} - \alpha_t)}{V_{\text{ot}}},$$

або, підставляючи другий вираз для α_t , одержимо:

$$T_{\text{mint}} = \frac{D_t \cos[K_{\text{ot}} - K_{\text{ot}} - \arccos \frac{V_{\text{ot}}(T_{\text{min}} - t)}{D_t}]}{V_{\text{ot}}} = T_{\text{min}} - t.$$

Таким чином, при $t < T_{\text{min}}$ і незмінних параметрах руху обох суден дистанція найкоротшого зближення залишається постійною, а час найкоротшого зближення зменшується, обертаючись в 0, якщо $t = T_{\text{min}}$. Вирази (3.1) і (3.2) містять відносний курс K_{ot} і швидкість V_{ot} , залежність яких від параметрів руху суден K_1 , K_2 , V_1 і V_2 має наступний вигляд [34]:

$$V_{\text{ot}} = [V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos(K_1 - K_2)]^{1/2},$$

$$K_{\text{ot}} = \begin{cases} \psi, \text{ при } V_{\text{otx}} > 0, V_{\text{oty}} > 0, \\ \pi + \psi, \text{ при } V_{\text{oty}} < 0, \\ 2\pi + \psi, \text{ при } V_{\text{otx}} < 0, V_{\text{oty}} > 0 \end{cases},$$

де $\psi = \arcsin[(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2)/V_{\text{ot}}]$;

V_{otx} і V_{oty} - проекції сумарної відносної швидкості, причому:

$$V_{\text{отх}} = V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2 \quad \text{і} \quad V_{\text{оты}} = V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2.$$

Множина станів пари суден з погляду безпеки розходження можна розділяти на підмножини по різних ознаках. Першою ознакою можливого зіткнення суден є їх зближення. Тому множину станів пари суден можна розділити на підмножину суден, що зближуються і підмножину суден, що віддаляються. Параметром даної ознаки є швидкість зміни відстані між суднами $\dot{D}$.

Враховуючи, що у відносному русі нерухомим є судно c_2 , то за допомогою рисунку 3.1 одержимо:

$$\dot{D} = -V_{\text{от}} \cos(\alpha - K_{\text{от}}).$$

Звертаємо увагу, що при зближенні суден $\dot{D} < 0$, що справедливо при $0 \leq \alpha - K_{\text{от}} < \pi/2$. Оскільки рівність $\alpha - K_{\text{от}} = \pi/2$ має місце у момент часу $t = T_{\text{min}}$, то до моменту часу T_{min} знак $\dot{D}$ є незмінним.

Вважаючи, що швидкості суден V_1 і V_2 є незмінними, розглянемо залежність швидкості $\dot{D}$ від курсів суден K_1 і K_2 . З останнього виразу одержимо:

$$\dot{D} = -V_{\text{от}} [\cos K_{\text{от}} \cos \alpha + \sin K_{\text{от}} \sin \alpha]. \quad (3.3)$$

Звідки після перетворень остаточно одержимо вираз для визначення зміни дистанції $\dot{D}$:

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

Якщо судна зближуються $\dot{D} < 0$ і дистанція найкоротшого зближення D_{min} менше гранично - допустимої дистанції D_{dop} ($D_{\text{min}} < D_{\text{dop}}$), то виникає стан небезпечного зближення (ситуативного збурення).

Ситуативне збурення ω виникає при прогнозованому попаданні суден в область неприпустимих позицій. Воно виявляє прийдешню небезпечну позицію завчасно, виходячи з прогнозу зміни відносної позиції пари суден. Тому воно носить умовний характер, оскільки на його істинність впливають можливі дії суден і спосіб прогнозу. Отже, ситуативне збурення ω виникає тоді, коли прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ менше значення гранично - допустимої дистанції зближення D_d , величина якої залежить від форми області неприпустимих позицій і ракурсу зближення суден.

Другою характеристикою ситуативного збурення є час запасу t_{zi} і t_{zj} для кожного з пари суден. Значення часу запасу полягає в наступному. Якщо за наявності ситуативного збурення дистанція між суднами перевершує значення D_d і судно може своїм маневром забезпечити максимальне значення дистанції найкоротшого зближення $\max D_{\min}$, для якого $\max D_{\min} > D_d$, то судно знаходиться в допустимій позиції. З часом дистанція між суднами скорочується і настає момент часу t_{di} , коли досягається рівність $\max D_{\min} = D_d$. При подальшому зближенні суден з програмними параметрами руху $\max D_{\min} < D_d$, і судно потрапляє в підмножину неприпустимих позицій, причому ніяким маневром зміни курсу воно не зможе розійтися з іншим судном в дистанції D_d . Тому час запасу t_{zi} рівний інтервалу часу від теперішнього моменту до моменту часу t_{di} попадання судна в підмножину неприпустимих позицій. Значення загального часу запасу t_{zij} для пари суден доцільно вибрати із співвідношення $t_{zij} = \min(t_{zi}, t_{zj})$.

Ситуативне збурення ω може приймати три значення:

$$\omega = \begin{cases} 0, & D_{\min} \geq D_d, \\ 1, & D_{\min} < D_d, t_{zij} > 0, \\ 2, & D_{\min} \leq D_d, t_{zij} \leq 0. \end{cases} \quad (3.4)$$

Для декомпозиції множини станів небезпечного зближення системи S_{12} на підмножини ситуативних збурень із значеннями 1 і 2 враховуємо співвідношення значень $\max D_{\min}$ і D_{dop} . Зміна значень ситуативного збурення відбувається на межі, коли досягається рівність $\max D_{\min} = D_{\text{dop}}$.

Враховуємо, що:

$$\max D_{\min} = \Delta_n D \sin(K_{\text{extr}} - \alpha),$$

де K_{extr} - екстремальний відносний курс рівний K_{otmin} або K_{otmax} , при якому дистанція найкоротшого зближення $D_{\min}$ максимальна. Компенсація ситуативного збурення ω здійснюється на першій ділянці ухилення судна. Після завершення ділянки ухилення реалізується ділянка виходу на програмну траєкторію руху.

У разі небезпечного зближення декількох суден для характеристики ситуації їх зближення застосовується матриця ситуативного збурення $W = \{\omega_{ij}\}$ [43], яка для трьох суден має вигляд:

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

де ω_{ij} - ситуативне збурення, яке характеризує рівень небезпеки зіткнення пари суден c_i і c_j .

При появі ситуативного збурення необхідна його компенсація маневром розходження, тобто зміною параметрів руху суден так, щоб прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення було рівне або більше гранично - допустимої дистанції зближення ($D_{\min} \geq D_d$).

У підрозділі вирішена перша допоміжна задача дослідження. Розглянуто ситуативне збурення у разі небезпечного зближення суден і оцінка його рівня небезпеки та показано, що при зближенні декількох суден використовується матриця ситуативного збурення. Проаналізовані типи управління процесом розходження суден при небезпечному зближенні. Показано, що класичним типом управління процесом розходження є локально-незалежне управління, яке передбачає застосування системи бінарної координації, що в даний час реалізована в МППЗС-72.

3.2. Типи управління суднами при небезпечному зближенні

Принципово важливим аспектом управління процесом розходження є повнота управління, виражена двома різними підходами. По-перше, це локально-незалежне управління, суть якого полягає в контролі кожним з суден поточного стану ситуації зближення і за наявності ситуативного збурення його компенсація проводиться маневрами обох суден, причому вибір маневру розходження вибирається незалежно кожним з суден. Для забезпечення безпеки розходження необхідна узгодженість маневрів розходження суден, тобто координація маневрів, яка дозволяє збільшувати дистанцію найкоротшого зближення. При цьому типі управління кожне з суден контролює поточний стан ситуації зближення і при появі ситуативного збурення ω між суднами виникає взаємодія B_z , яка програмну ділянку відносного руху з ситуативним збуренням ($D_{\min} < D_d$) трансформує у відносну траєкторію без ситуативного збурення ($D_{\min} \geq D_d$). Взаємодія B_z прогнозує поведінку суден при розходженні і забезпечує вироблення адресних узгоджених стратегій кожному із взаємодіючих суден.

Тому взаємодія B_z формально може бути записана таким чином [45]:

$$G = B_z(F),$$

де $F=(D, \alpha, V_1, K_1, V_2, K_2)$ - вектор ситуації зближення, $G=(G_1, G_2)$.

Таким чином, взаємодія суден Bz – оператор або відображення параметрів стану ситуації зближення в множину параметрів стратегії розходження G , причому взаємодія Bz складається з двох операторів: Crd – координації маневрів і Prm – розрахунку параметрів маневрів.

Взаємодія Bz , як механізм узгодження по досягненню загальної мети попередження небезпечного зближення, визначаючи поведінку кожного з суден в процесі розходження, і прогножуючи зміну ситуації, є у край важливим чинником, що впливає на безпеку розходження. Таким чином, процес розходження є процесом компенсації ситуативного збурення, тобто перекладу ситуації зближення в підмножину безпечних станів, згідно механізму взаємодії Bz , а стратегією розходження G є алгоритм реалізації процесу розходження.

Реалізація взаємодії Bz здійснюється за допомогою системи бінарної координації або координатора $c_o(Bz)$, на вхід якого подається вектор F , а виходом є адресні сигнали судам β_1 і β_2 (рисунк 3.2). У свою чергу, кожний з сигналів β_i містить координуючий сигнал γ_i і сигнал зв'язку μ_i . Координуючі сигнали γ_i визначають підмножину курсів ухилення кожного із суден та забезпечують узгодженість маневрів розходження, а сигнали зв'язку μ_i містять інформацію кожному судну про прогнозовану поведінку іншого судна. Причому, $\mu_1 = \gamma_2$ і $\mu_2 = \gamma_1$. Координуючий сигнал γ_i містить три складові: сигнал q_{1i} визначає наявність пріоритету для кожного із суден, що передбачено координатором, а сигнали q_{2i} і q_{3i} регламентують взаємодіючим судам можливість ухилення відповідно управо і вліво. Приведені сигнали мають наступні значення:

$q_{1i} = 1$, при необхідності маневру розходження (активне судно);

$q_{1i} = -1$, у разі вимоги незмінного руху (пасивне судно);

$q_{2i} = 1$, якщо правилами поворот управо дозволений;

$q_{2i} = -1$, якщо правила забороняють поворот управо;

$q_{3i} = 1$, якщо правилами поворот вліво дозволений;

$q_{3i} = -1$, якщо правила забороняють поворот вліво.

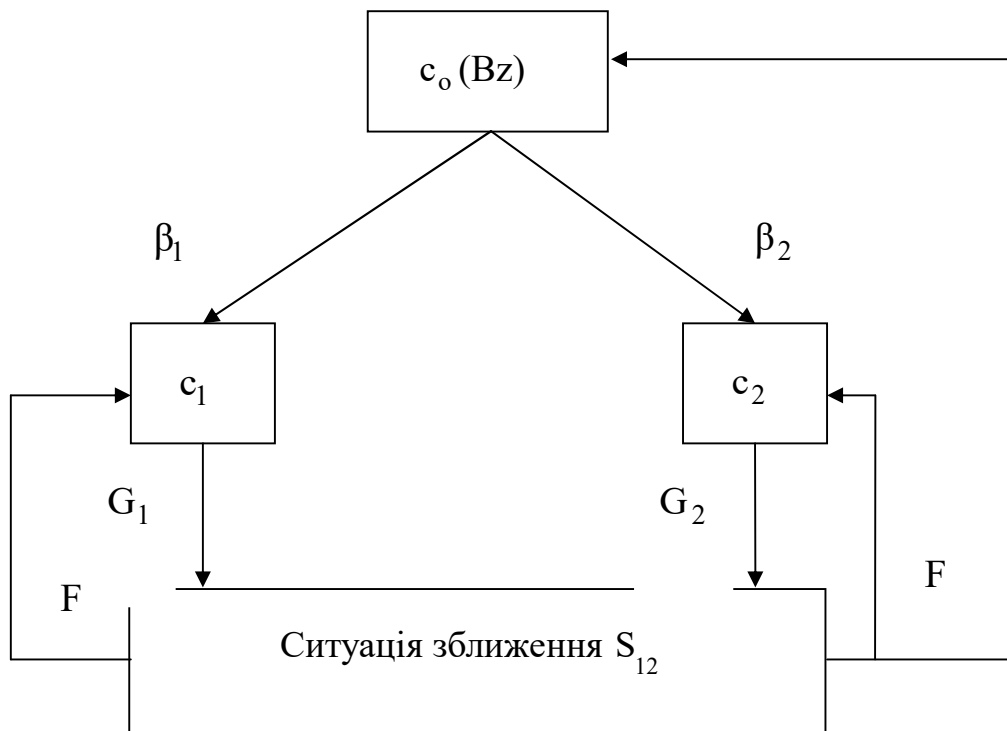


Рисунок 3.2 – Незалежне управління системою S_{12}

За допомогою адресного сигналу β_i і вектора стану F кожне з суден c_i системи S_{12} вибирає маневр розходження G_i з допустимої підмножини курсів ухилення, яке регламентується координуючим сигналом γ_i . Система бінарної координації $c_o(Bz)$ є засобом для опису тенденції поведінки пари взаємодіючих суден при виникненні ситуативного збурення з метою його компенсації. Як маневр розходження розглядається маневр зміни курсу судна. Перш за все,

система бінарної координації $c_o(Bz)$ повинна задовольняти закону необхідної різноманітності Ешбі [95], згідно якому різноманітність наявних стратегій розходження повинна відповідати різноманітності можливих ситуативних збурень. Інакше система $c_o(Bz)$ не зуміє компенсувати ситуативні збурення, створюючи передумови для зіткнень суден. Це значить, що система $c_o(Bz)$ повинна мати в своєму розпорядженні потенційну можливість компенсації ситуативного збурення у всіх випадках при $\omega = 1$.

В даний час при небезпечному зближенні суден і виникненні загрози зіткнення їх маневрування як на виду один у одного, так і в умовах зниженої видимості регламентується Міжнародними Правилами попередження зіткнення суден (МППЗС-72), які в цій частині виконують функцію системи бінарної координації взаємодії суден при небезпечному зближенні. Якщо плавання суден здійснюється в умовах хорошої видимості, то МППЗС-72 передбачені взаємні обов'язки суден в різних ситуаціях зближення з урахуванням їх відносної позиції, району плавання, мобільності суден, що маневрують, залежної від роду їх занять, особливостей конструкції або технічного стану. В умовах зниженої видимості координація суден МППЗС-72 не передбачена.

Другим типом управління процесом розходження суден є повне їх управління зовнішнім управлінцем, який спостерігає стан процесу зближення і у разі появи ситуативного збурення ω формує загальну стратегію розходження для обох суден, переводячи небезпечне зближення в незбурений стан. Таким управлінцем може бути, як СУРС, так і, що принципово важливе, суднова інформаційна система, з тими ж можливостями, встановлена на кожному з суден, яка вирішує задачу колективної компенсації ситуативного збурення і реалізує одержану в результаті рішення індивідуальну стратегію. Зовнішній управлінець Ξ спостерігає вектор стану F ситуації S_{12} суден, що зближуються, і аналізує наявність ситуативного збурення, при появі якого вибирає оптимальну стратегію (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.

Перевагою повного управління процесу розходження зовнішнім управлінцем є однакова інтерпретація ситуативного збурення при виборі маневрів розходження G_1 і G_2 .

Компенсація ситуативного збурення ω виробляється на першій ділянці ухилення стратегії G . Після завершення ділянки ухилення реалізується ділянка виходу на програмну траєкторію руху.

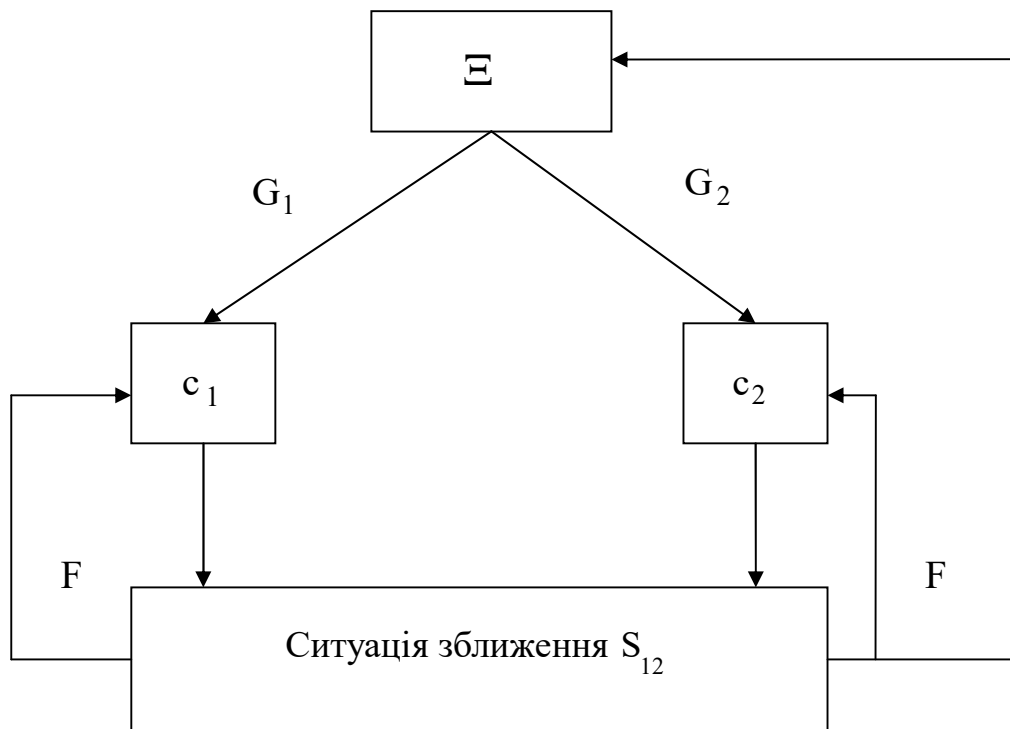


Рисунок 3.3 – Принцип повного управління системою S_{12}

3.3. Вибір безпечного маневру розходження при зовнішньому управлінні.

Наступні два підрозділа присвячені рішенням другої допоміжної задачі – вибір безпечного маневру розходження при зовнішньому управлінні.

Останнім часом запропоновані методи зовнішнього управління процесом розходження суден, зокрема в роботах [96, 97] розглянуто спосіб формування

області небезпечних курсів суден і розроблені процедури оцінки ситуації зближення і вибору курсів ухилення з її допомогою. Стисло висловимо суть способу формування небезпечної області курсів суден і її застосування.

Припустимо, в початковий момент часу взаємне положення двох суден, які небезпечно зближуються, характеризується пеленгом α_{ij} і дистанцією D_{ij} , а взаємне переміщення - відносним курсом K_{otij} і швидкістю V_{otij} . Дистанція найкоротшого зближення $\min D_{ij}$ суден менше гранично - допустимої дистанції d_d , тобто $\min D_{ij} < d_d$, і судна зближуються небезпечно. СУРС, яка здійснює управління суднами, необхідно знайти курси суден K_i і K_j , при яких їх дистанції найкоротшого зближення будуть більшими гранично - допустимої дистанції d_d . З цією метою використовуємо вираз (3.1) для $\min D_{ij}$ і одержимо:

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

Дистанцію найкоротшого зближення $\min D_{ij}$ можна збільшити зміною відносного курсу K_{otij} , тобто курсів суден K_i і K_j . Знайдемо значення курсів суден, що забезпечують виконання одержаної умови, яку можна представити в наступному вигляді:

$$\operatorname{tg} K_{otij} \leq \operatorname{tg} \left[\alpha_{ij} - \arcsin \left(\frac{d_d}{\Delta_{ij} D_{ij}} \right) \right]. \quad (3.5)$$

Вводимо позначення $\gamma_{ij} = \alpha_{ij} - \arcsin \left(\frac{d_d}{\Delta_{ij} D_{ij}} \right)$ і враховуємо, що згідно [34]:

$$\operatorname{tg} K_{otij} = \frac{V_i \sin K_i - V_j \sin K_j}{V_i \cos K_i - V_j \cos K_j},$$

з урахуванням чого вираз (3.5) приймає наступний вигляд:

$$(\sin K_i \cos \gamma_{ij} - \cos K_i \sin \gamma_{ij}) \leq \rho_{ij} (\sin K_j \cos \gamma_{ij} - \cos K_j \sin \gamma_{ij}),$$

де $\rho_{ij} = V_j/V_i$.

Відповідна рівність:

$$(\sin K_i \cos \gamma_{ij} - \cos K_i \sin \gamma_{ij}) = \rho_{ij} (\sin K_j \cos \gamma_{ij} - \cos K_j \sin \gamma_{ij})$$

або

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

представляє аналітичні вирази межі небезпечної області S_{Dij} , що обмежує неприпустимі поєднання значень пар відповідних курсів K_i і K_j . Одержане рівняння має два рішення, тобто справедливі наступні аналітичні залежності:

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

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

Перше з двох рішень рівняння відповідає ситуації зближення суден, а друге – ситуації їх віддалення. Небезпека зіткнення виникає при зближенні суден, тому рівняння меж небезпечної області курсів S_{Dij} визначається рівнянням:

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

Даний вираз характеризує межу між небезпечною і допустимою областями курсів K_i і K_j . За допомогою комп'ютерної програми на рис. 3.4 представлено графічне відображення небезпечної області S_{Dij} курсів K_i і, в якій $\min D_{ij} < d_d$, для ситуації небезпечного зближення з параметрами $\alpha=75^\circ$, $D=3$ милі, $d_d=1$

миля, $V_i=15$ вуз, $V_j=20$ вуз.

У разі рівності швидкостей суден, тобто $V_i = V_j$, слідує:

$$K_i - \gamma_{ij} = \arcsin\{\sin(K_j - \gamma_{ij})\},$$

$$K_i - \gamma_{ij} = \pi - \arcsin\{\sin(K_j - \gamma_{ij})\},$$

Умові зближення відповідає залежність, графічний вид якої показаний на рис. 3.5.

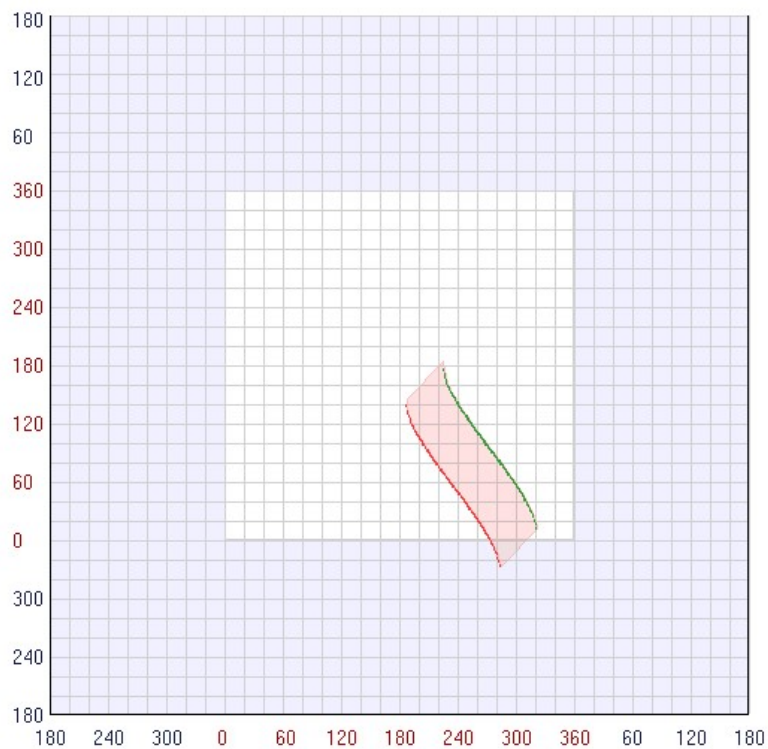


Рисунок 3.4 – Небезпечна область S_{Dij} курсів K_i і K_j при $V_i < V_j$

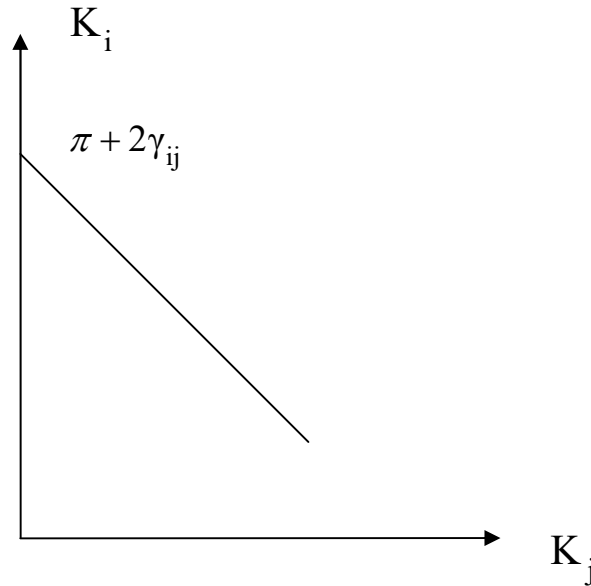


Рисунок 3.5 – Залежність курсу K_i від K_j

На рис. 3.6 показана небезпечна область S_{Dij} курсів K_i і K_j для тієї ж ситуації, але з $V_i=15$ уз, $V_j=15$ уз. Звертаємо увагу, що при рівності швидкостей суден межі області небезпечних курсів S_{Dij} , що зближуються, є прямими лініями.

Якщо $V_i > V_j$, тобто, $\rho_{ij} < 1$ то залежність між курсами суден K_i і K_j для випадку зближення виражається таким чином:

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

Так як $\rho_{ij} < 1$, то курс K_j приймає всі значення від 0 до 2π . На рис. 3.7. приведена небезпечна область S_{Dij} курсів K_i и K_j для $V_i=20$ вуз, $V_j=15$ вуз.

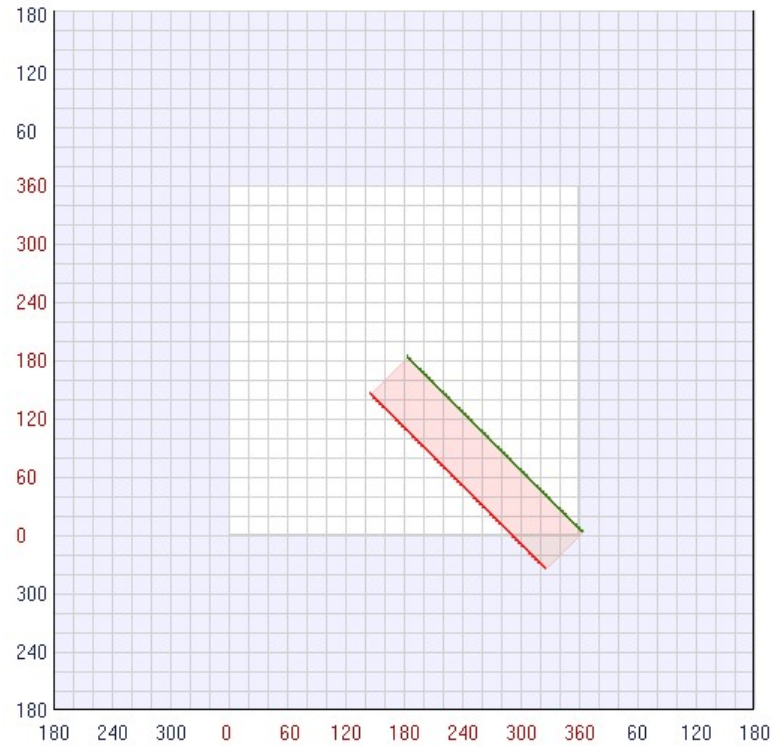


Рисунок 3.6 – Небезпечна область S_{Dij} курсів K_i і K_j при $V_i = V_j$

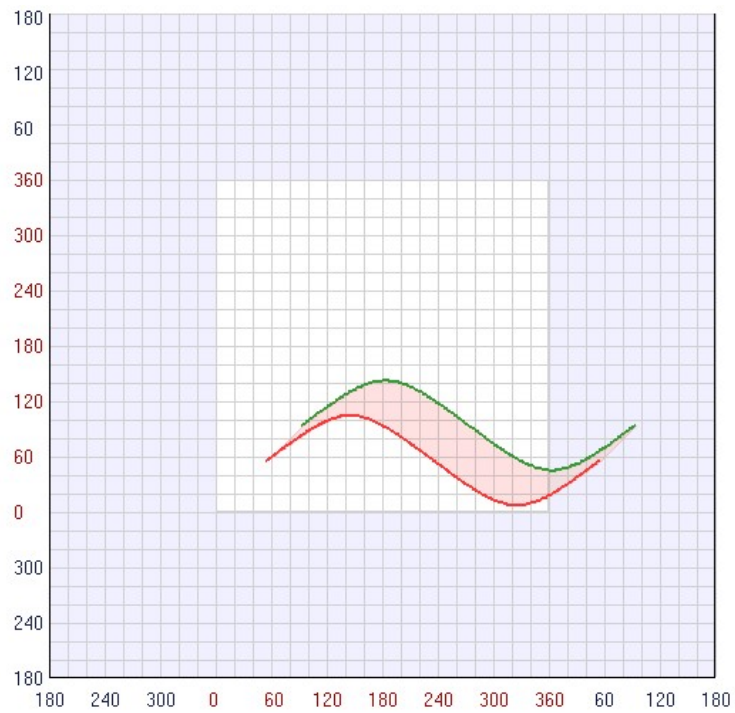


Рисунок 3.7 – Небезпечна область S_{Dij} курсів K_i і K_j при $V_i > V_j$

Оцінка небезпеки ситуації зближення проводиться аналізом положення точки початкових курсів суден (K_{ni}, K_{nj}) відносно небезпечної області S_{Dij} . Якщо $(K_{ni}, K_{nj}) \in S_{Dij}$, то $\min D_{ij} < d_d$ і ситуація зближення небезпечна, інакше ситуаційне збурення відсутнє і немає потреби змінювати параметри руху суден, що зближуються. В якості прикладу на рис. 3.8 показана небезпечна область S_{Dij} для наступних параметрів: $\alpha_{ij}=90^\circ$, $D_{ij}=3,0$ милі, $d_d=1,0$ миля, $V_i=15$ вузлів, $V_j=20$ вузлів. Для початкових курсів $K_{ni}=45^\circ$, і $K_{nj}=315^\circ$ початкова точка знаходиться в небезпечній області курсів (на рис. 3.8 курс K_j відраховується по осі ординат и відображається горизонтальною лінією, а курс K_i відраховується по осі абсцис и відображається вертикальною лінією). Для даної точки дистанція кратчайшого сближения $\min D_{ij} = 0,42$ милі, тому необхідно поміняти положення точки (K_i, K_j) переведенням її положення із небезпечної області S_{Dij} . З такою метою вибирається точка М, яка належить межі області S_{Dij} на мінімальній відстані від початкової точки. Координати цієї точки і являються значеннями оптимальних курсів ухилення суден. З рис. 3.8 видно, що оптимальні значення курсів дорівнюють $K_i = 63^\circ$ і $K_j = 323^\circ$, – вони являються координатами точки М, при цьому $\Delta K_i = 18^\circ$ і $\Delta K_j = 8^\circ$. При вказаних курсах суден дистанція найкоротшого зближення $\min D_{ij} = 1,01$ милі, тобто дорівнює гранично - допустимій дистанції.

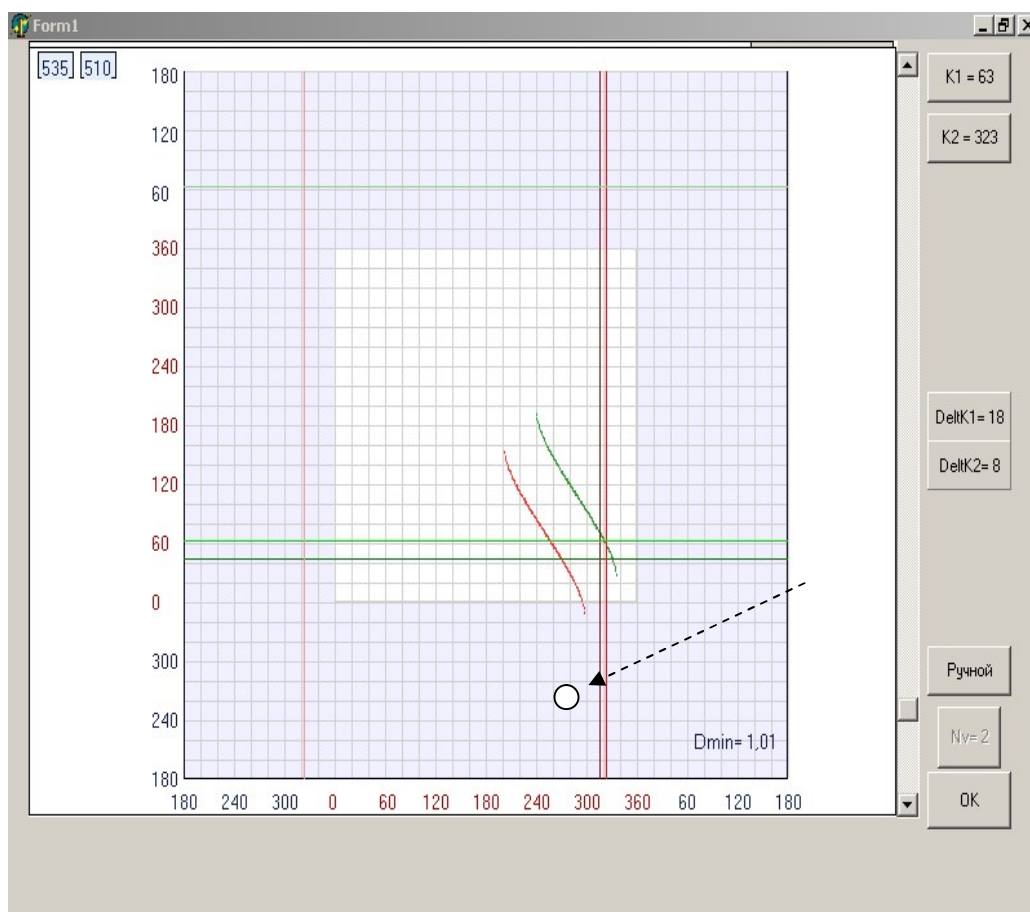


Рисунок 3.8 – Визначення оптимальних значень курсів K_i і K_j

Облік інерційності судна при повороті і навігаційних перешкод при формуванні області небезпечних курсів і виборі оптимальних курсів ухилення розглянуто в роботі [89], причому інерційність судна при повороті враховується динамічною моделлю повороту з постійною кутовою швидкістю при заданому куті переключення керма. Навігаційні небезпеки враховуються множиною неприпустимих курсів ухилення, яка задається парою граничних неприпустимих курсів для кожного судна.

Таким чином, маючи в своєму розпорядженні небезпечну область S_{Dij} курсів двох суден можна вибрати їх безпечні курси ухилення, що забезпечують розходження на відстані, яка більша величини гранично - допустимої дистанції, при цьому можливе урахування інерційності суден і навігаційних перешкод.

3.4. Формування області небезпечних швидкостей і її застосування для аналізу ситуації зближення суден

За ситуації, коли пари суден, що небезпечно зближуються, не можуть змінювати свої курси, наприклад через навігаційні небезпеки, попередження зіткнення можливе зміною їх швидкостей. В цьому випадку при зовнішньому управлінні рухом суден, тобто системою контролю і управління рухом суден VTS, множину станів системи пари суден доцільно представити областю небезпечних швидкостей [98], яка аналогічна розглянутій вище області небезпечних курсів, тільки кожній точці (V_1, V_2) парних швидкостей суден відповідає дистанція найкоротшого зближення між суднами. Межа небезпечної області швидкостей, кожна точка якої відповідає дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$, що дорівнює гранично - допустимій дистанції D_d , з урахуванням виразу (3.1), описується рівнянням:

$$D_{\min} = \Delta D \sin(\alpha - K_{ot}) = D_d,$$

з якого виходить:

$$\alpha - K_{ot} = \arcsin\left(\frac{D_d}{\Delta D}\right),$$

звідки одержимо

$$K_{ot} = \alpha - \arcsin\left(\frac{D_d}{\Delta D}\right).$$

Тому можна записати:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \operatorname{tg}\left[\alpha - \arcsin\left(\frac{D_d}{\Delta D}\right)\right].$$

Враховуємо, що

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2},$$

тоді можна записати:

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

де $\gamma = \alpha \pm \arcsin\left(\frac{D_d}{\Delta D}\right)$.

У роботі [8] з даного рівняння одержано:

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

і рівняння для меж небезпечної області швидкостей, причому вираз для верхньої межі:

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

де $\gamma^* = \alpha - \arcsin D_d/D$.

Рівняння для нижньої межі одержано аналогічним чином:

$$V_{1*} = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma_*)}{\sin(K_1 - \gamma_*)},$$

де, $\gamma_* = \alpha + \arcsin D_d/D$.

При незмінних значеннях курсів K_1, K_2 і параметрів γ^*, γ_* , межі небезпечної області швидкостей є лінійними. На рис. 3.9 показана область неприпустимих швидкостей для пари суден, що небезпечно зближуються, курси яких є незмінними. Як приклад вибрана ситуація небезпечного зближення суден з параметрами: $\alpha = 90^\circ$, $D = 3,0$ милі, $D_d = 1,0$ милі, $K_1 = 45^\circ$, $K_2 = 315^\circ$, з початковими швидкостями $V_1 = 15$ вузлів і $V_2 = 15$ вузлів. В цьому випадку $\gamma^* = 70,5^\circ$ і $\gamma_* = 109,5^\circ$, а вирази для верхньої $Gr^*(V_1, V_2)$ і нижньої $Gr_*(V_1, V_2)$ меж:

$$V_1^* = 2,097V_2 \text{ и } V_{1*} = 0,477V_2.$$

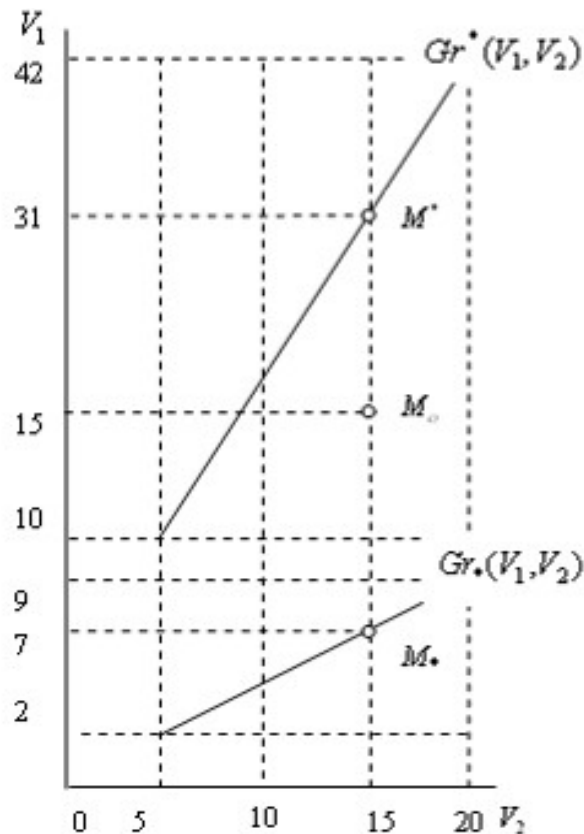


Рисунок 3.9 – Область неприпустимих швидкостей

Як впливає зведеного рисунку, крапка з початковими швидкостями M_o належить області неприпустимих швидкостей і зближення суден небезпечне. Якщо судно, що має швидкість V_2 слідує з незмінними параметрами, а судно з швидкістю V_1 маневруватиме зміною швидкості, то безпечна розходження на дистанції $D_d=1,0$ милі можливі при збільшенні швидкості V_1 до значення 31,5 вузли (крапка M^*) або її зменшенні до значення 7,2 вузли (крапка M_*). Вказані крапки знаходяться на верхній $Gr^*(V_1, V_2)$ і нижній $Gr_*(V_1, V_2)$ межах області небезпечних швидкостей.

При можливості зміни швидкості V_1 до вказаних меж практично миттєво значення дистанції D і пеленга α не змінюються і судна розходяться на заданій гранично - допустимій дистанції. Проте через інерційність судна для зміни швидкості судна V_1 до необхідних значень потрібен інтервал часу [99]:

$$\tau = \frac{m}{2\mu V_{y1}} \ln \left| \frac{2V_{y1}^2 - 2V_1 V_{y1} - 0,1(V_{y1} - V_1)}{0,1(V_{y1} + V_1)} \right|,$$

де m – маса судна з приєднаними масами;

μ – гідродинамічний коефіцієнт опору;

V_{y1} – кінцева швидкість судна, що маневрує (V_{1*} або V_1^*).

Для того, щоб в результаті зміни швидкості до значення V_{y1} судна розійшлися на дистанції не меншої, ніж D_d , необхідне виконання умови:

$$\tau \leq (t_{yk} - t_{yn}),$$

де t_{yn} – момент часу початку зміни швидкості;

t_{yk} – момент часу виходу судна в позицію, що дозволяє з швидкістю V_{y1} забезпечити розходження в безпечній дистанції.

У роботі [100] показано, що при значенні різниці курсів суден $\Delta K=0$ і $\Delta K=180$, тобто при зближенні суден на контркурсах і паралельними курсами зміна швидкостей суден не впливає на величину відносного курсу. Тому в таких ситуаціях маневр розходження суден зміною швидкостей неможливий, тобто множина безпечних маневрів розходження є порожньою. У роботі також вказується, що при рівності поточних швидкостей суден ($\Delta V=0$) величина відносного курсу також не міняється. Тому у разі рівності початкових судових швидкостей при їх однаковій зміні маневр розходження суден зміною швидкостей також неможливий.

Вище було показано, що область неприпустимих швидкостей пари суден має межі:

$$V_1^* = k^* V_2, \quad V_{1*} = k_* V_2,$$

$$\text{де } k^* = \frac{\sin(K_2 - \gamma^*)}{\sin(K_1 - \gamma^*)} \text{ і } k_* = \frac{\sin(K_2 - \gamma_*)}{\sin(K_1 - \gamma_*)}.$$

Очевидно, існування множини безпечних маневрів розходження має місце при умові:

$$\infty > k^* > 0, \infty > k_* > 0 \text{ и } k^* > k_*.$$

Інакше множина безпечних маневрів розходження є порожньою. Існуюча область небезпечних швидкостей має вигляд, показаний на рис. 3.10. У даному прикладі параметри ситуації зближення мають наступні значення:

$$\alpha_0 = 45^\circ, D_0 = 3 \text{ мили, } D_d = 1 \text{ миля, } K_1 = 90^\circ, K_2 = 180^\circ.$$

При початкових швидкостях $V_1 = 18$ уз і $V_2 = 21$ уз дистанція найкоротшого зближення $D_{\min} = 0,23$ милі.

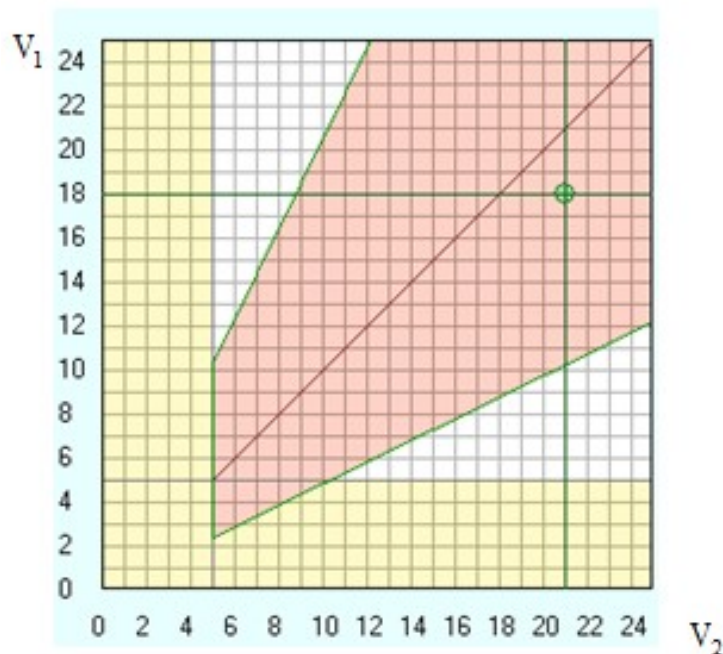


Рисунок 3.10 – Область небезпечних швидкостей суден прикладу

Перераховані вище умови справедливі і для урахування інерційних

характеристик суден при виборі безпечного маневру розходження. В цьому разі для вибору їх швидкостей розходження належить поступити таким чином. Визначається пара безпечних швидкостей V_{1y} і V_{2y} за допомогою області небезпечних швидкостей. Через інерційність суден необхідні швидкості розходження V_{1y} і V_{2y} досягаються за інтервали часу відповідно τ_{1y} і τ_{2y} , які, як правило, не рівні між собою. Через це загальна тривалість перехідного процесу t_p від початку зміни швидкостей суден до вибраних сталих значень V_{1y} і V_{2y} рівна більшому з інтервалів τ_{1y} і τ_{2y} ($t_p = \max[\tau_{1y}, \tau_{2y}]$).

Розраховуємо у цей момент часу при сталих швидкостях V_{1y} і V_{2y} дистанцію найкоротшого зближення і якщо вона буде рівна або більше гранично - допустимої дистанції, то множина безпечних маневрів розходження існує. Оскільки маневр розходження суден зміною швидкостей виконується їх гальмуванням, то значення швидкостей V_{1y} і V_{2y} є меншими, ніж їх початкові значення V_1 і V_2 , тому судна із зниженими швидкостями слідує до моменту часу найкоротшого зближення, після чого збільшують швидкості до початкових значень. Початкова ситуація небезпечного зближення суден для початкового моменту часу $t_0 = 0$ характеризується пеленгом α_0 і дистанцією D_0 . Для першого судна прийняті початкові координати $X_{10} = 0$ і $Y_{10} = 0$. Отже, початкові координати другого судна мають значення $X_{20} = D_0 \sin \alpha_0$ і $Y_{20} = D_0 \cos \alpha_0$. З часом координати суден X_{1t} , Y_{1t} , X_{2t} і Y_{2t} , а також поточні значення дистанції D_t і пеленга α_t змінюються. До моменту часу закінчення загального перехідного процесу t_p координати суден позначимо: для судна з більшим перехідним періодом X_{mxp} , Y_{mxp} і X_{mnp} , Y_{mnp} – для судна з меншим перехідним періодом. Значення пеленга α_p і дистанції D_p на момент часу t_p :

$$D_p = \sqrt{(X_{mxp} - X_{mnp})^2 + (Y_{mxp} - Y_{mnp})^2},$$

$$\alpha_p = \arcsin \frac{X_{mxp} - X_{mnp}}{D_p}.$$

Параметри руху обох суден і відносний курс $K_{отр}$ у момент часу t_p стають незмінними. Отже, дистанція найкоротшого зближення суден D_{min} визначається формулою:

$$D_{min} = \text{Abs}[D_p \sin(K_{отр} - \alpha_p)]. \quad (3.6)$$

При одержаному значенні D_{min} рівному або більшому гранично-допустимій дистанції D_d множина допустимих маневрів розходження за допомогою вибраних швидкостей V_{1y} і V_{2y} не є порожньою. Якщо має місце нерівність $D_{min} < D_d$, то слід вибрати іншу пару швидкостей V_{1y} і V_{2y} , які не належать області небезпечних швидкостей, і повторно провести перевірку існування множини допустимих маневрів. У роботі [101] одержана формула залежності t_n від величини D_{min} :

$$t_n = \frac{\Delta_p D_{min} - S_{mx} \sin(K_{отр} - K_{mx}) - [S_{mn} + V_{mny}(t_p - \tau_{mn})] \sin(K_{отр} - K_{mn})}{V_{mx} \sin(K_{отр} - K_{mx}) - V_{mn} \sin(K_{отр} - K_{mn})},$$

де $\Delta_p = \text{sign}[\sin(K_{отр} - \alpha_p)]$, а також вираз для розрахунку оптимального маневру момент часу t_n^* :

$$t_n^* = \frac{\Delta_p D_d - S_{mx} \sin(K_{отр} - K_{mx}) - [S_{mn} + V_{mny}(t_p - \tau_{mn})] \sin(K_{отр} - K_{mn})}{V_{mx} \sin(K_{отр} - K_{mx}) - V_{mn} \sin(K_{отр} - K_{mn})}.$$

Розрахунок значення t_n^* доцільно виконувати по наступному алгоритму.

Початковим є вираз (3.6) для визначення D_{min} :

$$D_{\min} = \text{Abs}[D_p \sin(K_{\text{отр}} - \alpha_p)].$$

Після завершення загального перехідного періоду при $t_n = 0$ справедлива нерівність $D_{\min} > D_d$ і відносний курс $K_{\text{отр}}$ є постійним, тому із зростанням t_n значення $D_{\min}$ зменшується, а також змінюються пеленг α_p і дистанція D_p . Для кожного значення часу необхідно розрахувати значення пеленга α_p і дистанції D_p , по яких за допомогою формули (3.6) обчислюється величина $D_{\min}$. Набуте значення $D_{\min}$ порівнюється з гранично - допустимою дистанцією D_d , і якщо $D_{\min} > D_d$, то процес розрахунку циклічно продовжується до тих пір, поки не досягається рівність $D_{\min} = D_d$, при цьому $t_n = t_n^*$.

Для розходження маневром зміни швидкості вибирається активне або пасивне гальмування одного або обох суден. При виконанні маневру розходження зміною швидкостей обох суден можливі чотири варіанти вибору режиму гальмування:

1. Обидва судна використовують активне гальмування;
2. Обидва судна використовують пасивне гальмування;
3. Перше судно застосовує активне гальмування, а друге судно – пасивне гальмування;
4. Перше судно застосовує пасивне гальмування, а друге судно – активне гальмування.

Для розрахунку оптимального значення моменту часу початку гальмування суден t_n^* необхідно знати тривалості процесів гальмування суден τ_{1y} і τ_{2y} , а також значеннями їх вибігів S_1 і S_2 . Наприклад, якщо застосовується варіант розходження 3, при якому перше судно знижує швидкість активним гальмуванням, а друге – пасивним гальмуванням, то тривалості процесів

гальмування суден і їх вибіги визначаються виразами:

$$\tau_{1y} = \frac{m_1}{\mu V_{yp1}} \left[\operatorname{arctg} \frac{V_1}{V_{yp1}} - \operatorname{arctg} \frac{V_{1y}}{V_{yp1}} \right],$$

$$\tau_{2y} = \frac{m_2}{\mu} \left(\frac{1}{V_{2y}} - \frac{1}{V_2} \right),$$

$$S_1 = \frac{m_1}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + V_{yp1}^2}{V_{1y}^2 + V_{yp1}^2} \right|,$$

$$S_2 = \frac{m_2}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2}{V_{2y}^2} \right|.$$

Робота [102] присвячена другому типу оптимального маневру розходження зниженням швидкості, особливістю якого є фіксоване значення моменту початку гальмування суден, рівне нульовому моменту часу $t_n = 0$. Оптимізація маневру розходження проводиться по параметрах V_{1y} і V_{2y} , які мінімально відрізняються від початкових значень відповідних швидкостей V_1 , V_2 і забезпечують рівність $D_{\min}(V_{1y}, V_{2y}) = D_d$ до моменту закінчення перехідного процесу, співпадаючого з моментом часу найкоротшого зближення. Для вибору оптимального маневру другого типу розроблена комп'ютерна програма, яка по введених значеннях швидкостей ухилення V_{1y} і V_{2y} з урахуванням вибраних режимів гальмування розраховує дистанцію найкоротшого зближення і дозволяє визначити оптимальні значення швидкостей ухилення суден. Як приклад розглянута ситуація небезпечного зближення суден з швидкостями $V_1 = 17$ вузлів і $V_2 = 22$ вузла. Як показано на рис. 3.11, ситуація зближення є

небезпечною, оскільки початкова точка швидкостей (V_1, V_2) знаходиться у області небезпечних швидкостей. Для маневру розходження першим і другим суднами вибране активне гальмування. Вибір швидкості ухилення здійснюється інтерактивно, причому вказується прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення. Спочатку для першого судна введена швидкість ухилення $V_{1y} = 14,5$ вуз. Потім вибирається друге судно, і введення його швидкості ухилення завершується, коли дистанція найкоротшого зближення досягає величини гранично - допустимої дистанції (0,99 милі), як показано на рис. 3.11. При цьому швидкість розходження другого судна рівна $V_{2y} = 6,5$ вуз. Крапка, відповідна вибраним швидкостям ухилення $V_{1y} = 14,5$ вуз. і $V_{2y} = 6,5$ вуз., знаходиться поряд з межею області небезпечних швидкостей, а швидкості ухилення показані крапками на кривих гальмування суден, які відображені на правій частині екрану монітору.

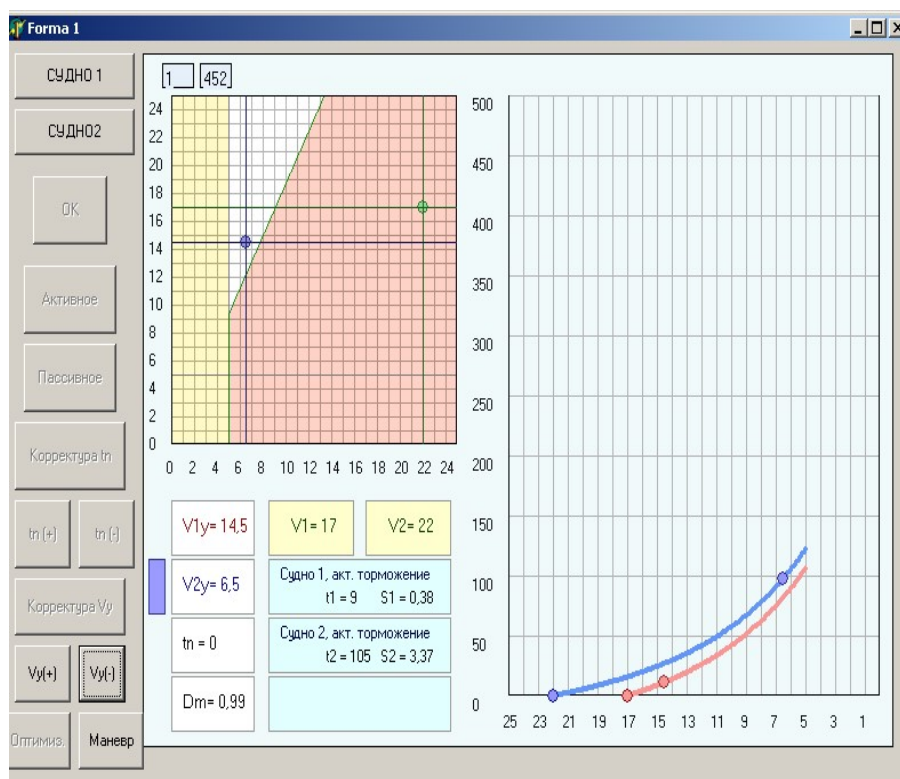


Рисунок 3.11 – Вибір оптимальних швидкостей розходження суден

Таким чином, при обох типах оптимальних маневрів розходження суден зниженням швидкостей критерієм оптимальності є втрата ходового часу суден на виконання маневру розходження, яку необхідно мінімізувати. При першому типі оптимального маневру розходження вибираються допустимі значення швидкостей ухилення V_{1y} і V_{2y} , які забезпечують існування непорожньої множини безпечних маневрів розходження зниженням швидкості. Оптимізація проводиться за часом початку процесу гальмування суден, величина якого визначається з умови рівності дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ з гранично - допустимою дистанцією D_d у момент закінчення перехідного процесу, тобто $D_{\min}(t_n) = D_d$. Особливістю другого типу оптимального маневру розходження є фіксоване значення моменту початку гальмування суден, рівне нульовому моменту часу, а оптимізація проводиться по параметрах V_{1y} і V_{2y} , які мінімально відрізняються від початкових значень відповідних швидкостей, V_1 , V_2 і забезпечують рівність $D_{\min}(V_{1y}, V_{2y}) = D_d$ в момент часу закінчення перехідного процесу, який співпадає з моментом часу найкоротшого зближення.

Раніше був розглянутий спосіб формування області небезпечних курсів пари суден, що зближуються, за допомогою якого можлива оцінка ступеня небезпеки ситуації зближення і вибору маневру розходження суден зміною їх курсів при постійних швидкостях. Також запропоновано спосіб розрахунку меж області небезпечних швидкостей, який дозволяє визначити маневр розходження суден зміною їх швидкостей при незмінних курсах. Проте можливості безпечної розходження суден, що небезпечно зближуються, зростають при використуванні ще одного типу розходження, при якому одне з суден змінює курс, зберігаючи незмінною швидкість, а друге судно на постійному курсі знижує свою швидкість. У вказаному випадку необхідно розглянути область небезпечних курсів одного судна і швидкостей іншого судна, при поєднанні

яких дистанція найкоротшого зближення менша гранично - допустимої дистанції, тобто зближення суден є небезпечним. Розглянемо принцип формування такої області, яку позначимо Ω_{KV} . Очевидно, що межу області Ω_{KV} на площині $K_1 \times V_2$ складають крапки (K_1, V_2) , що задовольняють умові $\min D(K_1, V_2) = d_d$. Аналітично це виражається таким чином. З виразу (3.1) для $\min D$ одержимо:

$$K_{ot} = \alpha \mp \arcsin\left(\frac{d_d}{D}\right),$$

тому справедлива рівність:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \operatorname{tg}\left[\alpha \pm \arcsin\left(\frac{d_d}{D}\right)\right]. \quad (3.7)$$

Позначаємо $\gamma^{(1,2)} = \alpha \mp \arcsin\left(\frac{d_d}{D}\right)$, отже,

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \operatorname{tg} \gamma^{(1,2)}.$$

Враховуючи [34],

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2},$$

одержимо

$$\frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2} = \frac{\sin \gamma^{(1,2)}}{\cos \gamma^{(1,2)}}, \quad (3.8)$$

звідки записуємо залежність між курсом одного судна K_1 і швидкістю іншого судна V_2 , які задовольняють умові $\min D = d_d$. Вираз (3.8) приймає наступний вигляд:

$$\sin K_1 \cos \gamma^{(1,2)} - \cos K_1 \sin \gamma^{(1,2)} = \frac{V_2}{V_1} (\sin K_2 \cos \gamma^{(1,2)} - \cos K_2 \sin \gamma^{(1,2)}),$$

або

$$\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)}) = \frac{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1} V_2. \quad (3.9)$$

Якщо позначити $\mu^{(1,2)} = \frac{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}$, то

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

Отже, існує дві межі, на яких досягається рівність $\min D = d_d$:

$$\begin{aligned} V_2^{(1)} &= \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1)})}{\mu^{(1)}} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})], \\ V_2^{(2)} &= \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(2)})}{\mu^{(2)}} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Оскільки розглядаємо зміну швидкості гальмуванням, то значення швидкостей $V_2^{(1,2)}$ повинні задовольняти умові $V_{2n} > V_2^{(1,2)} \geq 0$, де V_{2n} - початкова швидкість судна, що змінює при розходженні свою швидкість.

Розглянемо, які значення курсу K_1 відповідають граничним значенням 0 і V_{2n} швидкості $V_2^{(1,2)}$. Перш за все, відзначаємо, що межі не можуть бути визначені для ситуації, коли $K_2 = \alpha \pm \arcsin \frac{d_d}{D}$. Очевидно, з рівнянь меж (3.10):

$$K_1(V_2^{(1,2)}(0)) = \alpha \mp \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1,2)}.$$

Для визначення другого значення $K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n})$ розглянемо рівняння:

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

і підставляємо $V_2^{(1,2)} = V_{2n}$:

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

звідки

$$\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)}) = \frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)}),$$

тому

$$K_1 = \gamma^{(1,2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})\right],$$

або

$$K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n}) = \gamma^{(1,2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})\right].$$

У випадку $V_1 > V_{2n}$ існують значення $K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n})$ для обох меж, а якщо $V_1 < V_{2n}$, то необхідно враховувати співвідношення між величиною $\gamma^{(1,2)}$ і екстремальними відносними курсами K_{otmax} і K_{otmin} .

Розглянемо випадок, коли $V_1 > V_{2n}$ і знаходимо граничні значення курсу першого судна

$$K_1(V_2^{(1)} = 0) = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1)};$$

$$K_1(V_2^{(2)} = 0) = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(2)};$$

$$K_1(V_2^{(1)} = V_{2n}) = \gamma^{(1)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)})\right];$$

$$K_1(V_2^{(2)} = V_{2n}) = \gamma^{(2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)})\right].$$

Введемо позначення:

$$K_{lmin}^{(1)} = K_1(V_2^{(1)} = 0), K_{lmin}^{(2)} = K_1(V_2^{(2)} = 0),$$

$$K_{lmax}^{(1)} = K_1(V_2^{(1)} = V_{2n}), K_{lmax}^{(2)} = K_1(V_2^{(2)} = V_{2n}).$$

З урахуванням прийнятих позначень:

$$K_{lmin}^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1)},$$

$$K_{lmin}^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(2)},$$

$$K_{lmax}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)}) \right],$$

$$K_{lmax}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)}) \right].$$

Звертаємо увагу, що зміна швидкості другого судна V_2 на ділянці $V_2 \in (0, V_{2n})$ для першої межі відбувається на ділянці курсів $K_1 \in (K_{lmin}^{(1)}, K_{lmax}^{(1)})$, тобто на інтервалі $\Delta K_1^{(1)} = K_{lmax}^{(1)} - K_{lmin}^{(1)}$ або з урахуванням одержаних виразів $\Delta K_1^{(1)} = \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)}) \right]$.

Аналогічно для другої межі: $K_1 \in (K_{lmin}^{(2)}, K_{lmax}^{(2)})$ і $\Delta K_1^{(2)} = \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)}) \right]$.

В свою чергу, інтервали $\Delta K_1^{(1)}$ і $\Delta K_1^{(2)}$ менші $\pi/2$, тому на цих інтервалах значення швидкості V_2 для обох меж монотонно зростає. З урахуванням одержаних результатів область Ω_{KV} небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна, обмежена першою G_{1KV} і другою G_{2KV}

межами для випадку $V_1 > V_{2n}$ і виглядає, як показано на рис. 3.12.

Таким чином, якщо точка з початковими параметрами руху суден $M_n(K_{n1}, V_{2n})$ знаходиться між першою G_{1KV} і другою G_{2KV} межами, тобто $(K_{n1}, V_{2n}) \in \Omega_{KV}$, то має місце нерівність $\min D(K_{n1}, V_{2n}) < d_d$, і зближення суден є небезпечним. В цьому випадку необхідно вибрати параметри ухилення суден K_{1y} і V_{2y} , так, щоб відповідна їм точка $M_y(K_{1y}, V_{2y})$ знаходилася на найближчій до точки $M_n(K_{n1}, V_{2n})$ межі області і відстань між точками M_n і M_y була мінімальною, як показано на рис. 3.12.

Для розрахунку швидкості ухилення другого судна, яка забезпечує для вибраного курсу ухилення першого судна дистанцію найкоротшого зближення рівну гранично - допустимій дистанції зближення, слід застосовувати аналітичні вирази для тривалості перехідних процесів, пройденої за цей час відстані S і залежності швидкості судна від часу у випадках активного і пасивного гальмування. Для цього скористаємося результатами роботи [95], які дозволяють одержати залежності для активного гальмування:

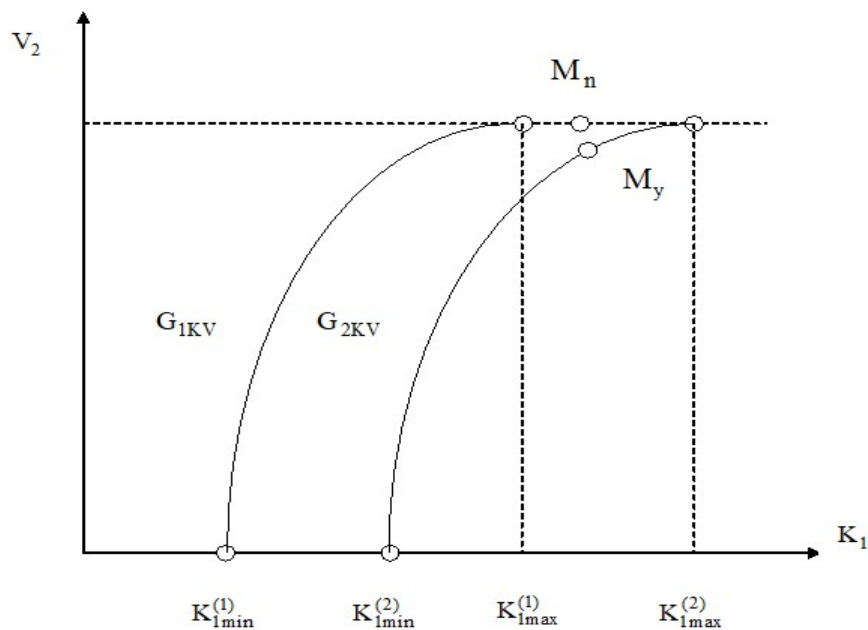


Рисунок 3.12 – Область Ω_{KV} небезпечних параметрів суден

$$\begin{aligned}
\tau_a &= \frac{m}{\mu V_{yp}} \left[\operatorname{arctg} \frac{V_o}{V_{yp}} - \operatorname{arctg} \frac{V_y}{V_{yp}} \right], \\
S_a &= \frac{m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_o^2 + V_{yp}^2}{V_y^2 + V_{yp}^2} \right|, \\
V_a &= V_{yp} \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{V_o}{V_{yp}} - \frac{\mu V_{yp}}{m} t \right).
\end{aligned} \tag{3.11}$$

Аналогічно для режиму пасивного гальмування:

$$\begin{aligned}
\tau_p &= \frac{m}{\mu} \left(\frac{1}{V_y} - \frac{1}{V_o} \right), \\
S_p &= \frac{m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_o^2}{V_y^2} \right|, \\
V_p &= \frac{V_o}{1 + \frac{V_o \mu}{m} t}
\end{aligned} \tag{3.12}$$

Раніше була одержана процедура розрахунку меж області Ω_{KV} у разі переваги швидкості першого судна ($V_1 > V_{2n}$). Якщо швидкість другого судна перевершує швидкість першого, яке маневрує зміною курсу, тобто $V_1 < V_{2n}$, то з виразу (3.9) попереднього розділу одержимо рівність

$$K_1 = \gamma^{(1,2)} + \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)}) \right],$$

аналіз якої показує, що межа області Ω_{KV} існує для швидкостей другого судна,

коли вираз під функцією арксинуса $\left| \frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)}) \right| \leq 1$. Тому максимальне

значення курсу першого судна $K_{1\max}$ межі області Ω_{KV} досягається при

швидкості $V_{2m} = \frac{V_1}{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}$

і рівне: $K_{lmax} = \gamma^{(1,2)} \mp \arcsin(1) = \gamma^{(1,2)} \mp \frac{\pi}{2}.$

Отже,

$$K_{lmax}^{(1)} = \gamma^{(1)} - \frac{\pi}{2}, \quad K_{lmax}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \frac{\pi}{2}.$$

Таким чином, при $V_1 < V_{2n}$ межі області Ω_{KV} існують для

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

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

У випадку $V_1 > V_{2n}$ існують значення $K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n})$ для обох меж, а область Ω_{KV} небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна між першою і другою межами виглядає, як показано на рис. 3.13. Причому на рис. 3.13 область Ω_{KV} сформовано для ситуації небезпечного зближення суден з параметрами: $\alpha=130^\circ$, $D=3$ милі, $K_1=130^\circ$, $V_1=22$ вузла, $K_2=315^\circ$, $V_2=18$ вузлів, $d_d=1$ миля.

Якщо швидкість другого судна перевершує швидкість першого, тобто $V_1 < V_{2n}$, то область Ω_{KV} показана на рис. 3.14. Параметри ситуації небезпечного зближення відрізняються тільки швидкостями суден, причому $V_1=18$ вузлів, а $V_2=22$ вузла.

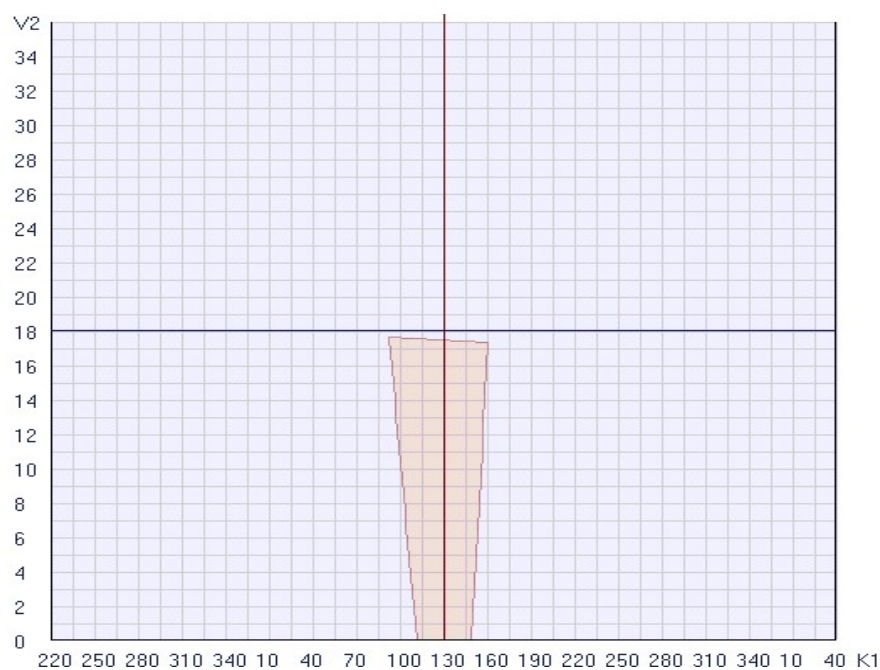


Рисунок 3.13 – Область Ω_{KV} небезпечних параметрів руху суден при $V_1 > V_{2n}$

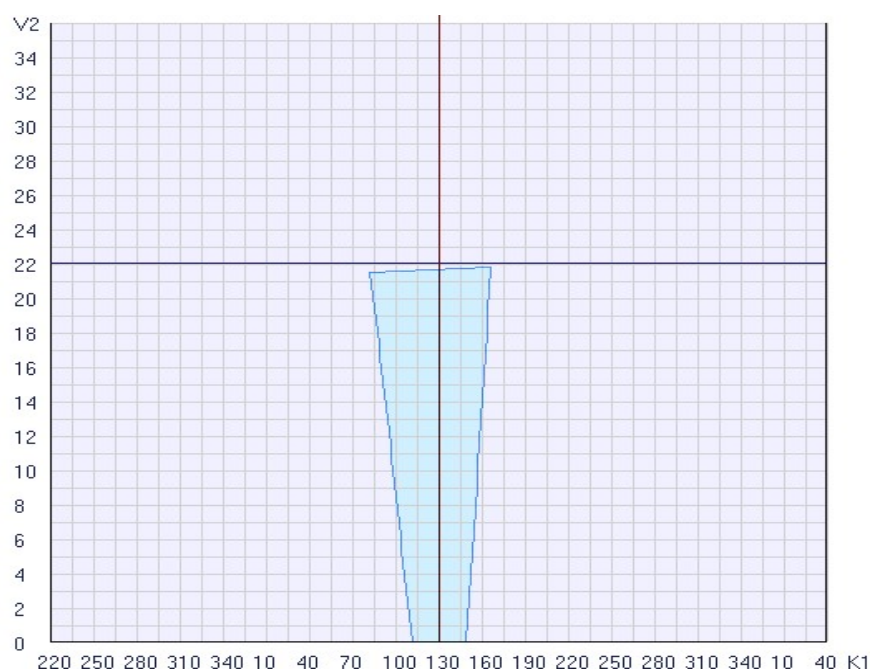


Рисунок 3.14 – Область Ω_{KV} небезпечних параметрів руху суден при $V_1 < V_{2n}$

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

3.5 Вплив стохастичних похибок вимірювань на параметри маневру розходження

У даній роботі суднова безпечна область має форму круга, радіус якого рівний гранично - допустимій дистанції зближення, а в його центрі знаходиться судно. Тому гранично - допустима дистанція зближення d_d є вичерпною характеристикою безпеки розходження суден.

Проведеними дослідженнями [106–109] були виявлені причини, що впливають на величину d_d . На величину гранично - допустимої дистанції зближення d_d впливають габарити судна і цілі, явище присмоктування, стохастичні характеристики векторіальної похибки положення цілі щодо судна і запас на форс-мажорні обставини (непередбачені поломки, що позбавляють судно можливості управлятися).

Тому гранично - допустима дистанція зближення d_d є сумою двох складових : детермінованої R_{det} і стохастичної R_{st} , тобто $d_d = R_{det} + R_{st}$. Як показано в роботі [106], детермінована складова R_{det} враховує габарити суден, явище присмоктування і запас на форс-мажорні обставини:

$$R_{det} = 0,7L_{v1} + 0,5B_{v2} + L_{pr} + L_{fnn} ,$$

де L_{v1} і B_{v2} - довжина одного судна і ширина другого судна;

L_{pr} і L_{fnn} - складові, враховують явище присмоктування і запас на форс-мажорні обставини.

Для визначення стохастичної складової R_{st} слід розглянути двовимірну область, побудовану щодо місця судна, яка із заданою вірогідністю, близькою до одиниці, повинна містити (накривати) істинне місце судна. Для пошуку двовимірної області D_{st} в роботі [108] пропонується скористатися наступним

очевидним рівнянням:

$$\iint_{D_{st}} f(x, y) dx dy = P_d, \quad (3.13)$$

де $f(x, y)$ - двовимірний щільність розподілу векторіальної позиційної похибки.

Розглянемо кругову стохастичну область, рівняння межі якої має вигляд:

$$y = \pm \sqrt{R^2 - x^2}.$$

В цьому випадку область D_{st} можна представити у вигляді чотирьох рівних секторів, як показано на рис. 3.15.

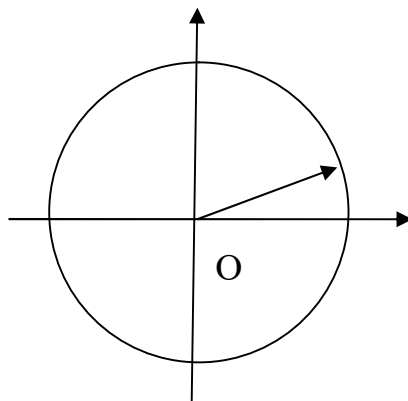


Рисунок 3.15 – Представлення стохастичної області D_{st}

Рівняння (3.13) можна записати в наступному вигляді:

$$4 \iint_{\frac{1}{4} D_{st}} f(x, y) dx dy = P_d. \quad (3.14)$$

У свою чергу для одного сектора справедливий вираз:

$$\int_0^R \sqrt{R^2 - x^2} \int_0^{\sqrt{R^2 - x^2}} f(x, y) dy dx = \frac{1}{4} P_d,$$

з урахуванням якого, рівняння (3.14) приймає вигляд:

$$4 \int_0^R \sqrt{R^2 - x^2} \int_0^{\sqrt{R^2 - x^2}} f(x, y) dy dx = P_d. \quad (3.15)$$

Вирішуючи дане рівняння щодо змінної R , знаходимо стохастичну складову R_{st} .

Інтегральному рівнянню (3.15) відповідає рівняння:

$$4 \sum_{i=0}^{R_{st}} \sqrt{R_{st}^2 - i^2} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} f(i, j) \Delta x \Delta y = P_d.$$

Оскільки R_{st} в останньому виразі є цілочисельною величиною, вираженою в метрах, то Δx і Δy рівні 1, і їх добуток також рівний 1. Тому надалі, враховуючи, що $\Delta x \Delta y = 1$, можна записати:

$$4 \sum_{i=0}^{R_{st}} \sqrt{R_{st}^2 - i^2} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} f(i, j) = P_d. \quad (3.16)$$

Підставляючи в (3.16) вираз для двовимірної щільності розподілу нормального закону, одержимо:

$$4 \sum_{i=0}^{R_{st}} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{j^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] = P_d,$$

або, остаточно, розрахунок параметра R_{st} проводиться за допомогою виразу:

$$\sum_{i=0}^{R_{st}} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} \exp\left[-\left(\frac{i^2}{2\sigma_x^2} + \frac{j^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] = \frac{\pi\sigma_x\sigma_y}{2} P_d. \quad (3.17)$$

У разі розподілу векторіальної похибки по змішаному закону першого типу двовимірна щільність розподілу має вигляд [34]:

$$f_1(x, y) = \frac{A_x A_y}{(x^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (y^2/2 + \alpha_y)^{n+1}}, \quad (n \leq 6)$$

$$\text{де } A_x = \frac{2^n \alpha_x^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots (2n-1)}, \quad A_y = \frac{2^n \alpha_y^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots (2n-1)}.$$

В цьому випадку вираз (3.17) приймає вигляд:

$$\sum_{i=0}^{R_{st}} \sum_{j=0}^{\sqrt{R_{st}^2 - i^2}} \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+1} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+1}} = \frac{1}{4A_x A_y} P_d. \quad (3.18)$$

Якщо векторіальна похибка підкоряється змішаному закону другого типу, то двовимірна щільність розподілу приймає вигляд [34]:

$$f_2(x, y) = \frac{B_x B_y}{(x^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (y^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}}, \quad (n \leq 5)$$

$$\text{де } B_x = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha_x^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!}, \quad B_y = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha_y^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!}.$$

Стохастична складова R_{st} визначається з виразу:

$$\sum_{i=0}^{R_{st}} \sqrt{R_{st}^2 - i^2} \sum_{j=0}^1 \frac{1}{(i^2/2 + \alpha_x)^{n+3/2} (j^2/2 + \alpha_y)^{n+3/2}} = \frac{1}{4B_x B_y} P_d. \quad (3.19)$$

Для оцінки розміру стохастичної області кругової області залежно від закону розподілу векторіальної позиційної похибки на персональному комп'ютері проводився розрахунок стохастичної складової R_{st} . Розміри стохастичної області розраховувалися для нормального розподілу векторіальної похибки за допомогою виразу (3.17), причому приймалося значення вірогідності $P_d = 0,995$ і $\sigma_x = \sigma_y = 100$ м. В результаті розрахунку одержано

$$R_{st} = 295 \text{ м, а площа області } S_{st} = 273397 \text{ м}^2.$$

У разі розподілу векторіальної позиційної похибки по змішаному закону першого типу значення R_{st} розраховувалося по формулі (3.18). Оскільки значення істотного параметра n в цьому випадку змінюється в межах 1..6, то в табл. 3.1 приведена залежність площі S області D_{st} і радіусу круга R_{st} від параметра n .

Таблиця 3.1 – Залежність параметрів стохастичної області D_{st} від параметра n

n	1	2	3	4	5	6
$S \text{ м}^2$	402639	378276	344196	323712	315535	307778
$R_{st} \text{ м}$	358	347	331	321	317	313

Якщо векторіальна позиційна похибка розподілена по змішаному закону

другого типу, то розрахунок площі S і радіусу R_{st} здійснювався по виразу (3.13) для різних значень параметра n ($n < 6$), результати якого представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Залежність параметрів області D_{st} від істотного параметра n

n	1	2	3	4	5
$S \text{ м}^2$	416248	365307	342119	325733	315696
$R_{st} \text{ м}$	364	341	330	322	317

Таким чином, максимальна стохастична складова R_{st} відповідає змішаному закону другого типу, а її мінімальне значення досягається при нормальному розподілі векторіальної позиційної похибки.

3.6. Результати натурних спостережень

Для формування початкових вибірок похибок вимірювання навігаційних параметрів формувалися серії вимірювання навігаційних параметрів кількістю більше 100 вимірювань. Вимірювання навігаційних параметрів проводилися на стоянці судна, причому за допомогою РЛС вимірювалися дистанція і пеленг на нерухомий орієнтир.

Вимірювання проводилися в порту Дакар (Сенегал). Послідовність вимірювань була наступною. Спочатку вимірювалися пеленг і дистанція до орієнтиру, записувалися їх значення, а потім відліки РЛС збивалися. Операція повторювалася через деякий інтервал часу. вимірювання проводилися протягом двох діб (250 вимірювань). Таким чином, були одержані 2 серії вимірювань пеленга і дистанції.

Для кожної серії вимірювань визначали середнє значення навігаційного параметра і розраховували значення похибок вимірювань, які в сукупності

представляли вибірку похибок, що виникають при вимірюванні вибраного параметра. В цьому випадку похибки вибірки будуть центрованими, тобто їх математичне очікування буде рівне нулю. Стандартною процедурою [110] розраховувалися дисперсія і середнє квадратичне відхилення похибки кожної вибірки. Основні характеристики кожної із вибірок приведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики вибірок

Навігаційний параметр	Число вимірів	Середнє значення	Дисперсія D	С. к. п. β
Пеленг	250	122,21°	0,246	0,496° = 29,76'
Дистанція	250	0.1206 мм	5,68	2,38 м

Надалі по кожній вибірці будується гістограма і проводиться перевірка статистичних гіпотез [102], в процесі якої визначається ступінь згоди статистичного матеріалу вибірки з вибраними законами розподілу вірогідності похибок.

Як альтернативні закони вибраний нормальний закон і змішані закони першого і другого типу, аналітичний вид яких приведений в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Альтернативні закони розподілу вірогідності похибок

Закон розподілу	Аналітичні вирази щільності
Гаусу	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2})$
Змішаний 1-го типу n=1	$\frac{2\alpha^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^2}$
Змішаний 1-го типу n=2	$\frac{8\alpha^{\frac{5}{2}}}{\sqrt{2\pi}3} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^3}$

Таблиця 3.4 продовження

Закон розподілу	Аналітичні вирази щільності
Змішаний 1-го типу n=3	$\frac{48\alpha^{\frac{7}{2}}}{\sqrt{2\pi}15} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^4}$
Змішаний 1-го типу n=4	$\frac{384\alpha^{\frac{9}{2}}}{\sqrt{2\pi}105} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^5}$
Змішаний 1-го типу n=5	$\frac{3840\alpha^{\frac{11}{2}}}{\sqrt{2\pi}945} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^6}$
Змішаний 1-го типу n=6	$\frac{46080\alpha^{\frac{13}{2}}}{\sqrt{2\pi}10395} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^7}$
Змішаний 2-го типу n=1	$\frac{3\alpha^2}{\sqrt{2}24} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{5/2}}$
Змішаний 2-го типу n=2	$\frac{15\alpha^3}{\sqrt{2}16} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{7/2}}$
Змішаний 2-го типу n=3	$\frac{105\alpha^4}{\sqrt{2}96} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{9/2}}$
Змішаний 2-го типу n=4	$\frac{945\alpha^5}{\sqrt{2}768} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{11/2}}$
Змішаний 2-го типу n=5	$\frac{10395\alpha^6}{\sqrt{2}7680} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{13/2}}$

Для кожної вибірки розраховані значення критерію згоди χ^2 – Пірсону з розглянутими законами розподілу вірогідності похибок, і як закон розподілу вибирається той, критерій згоди χ^2 – Пірсону якого має мінімальне значення.

У табл. 3.6 представлені значення критерію згоди χ^2 – Пірсону даної вибірки для даних законів розподілу.

Таблиця 3.6 – Значення критерію згоди χ^2 – Пірсону першої вибірки

№ п/п	Закон розподілу	Критерій згоди χ^2 – Пірсону
1	Гаусу	8,160
2	Змішаний 1-го типу n=1	0,112
3	Змішаний 1-го типу n=2	0,016
4	Змішаний 1-го типу n=3	0,009
5	Змішаний 1-го типу n=4	0,0089
6	Змішаний 1-го типу n=5	0,009
7	Змішаний 1-го типу n=6	0,011
8	Змішаний 2-го типу n=1	0,033
9	Змішаний 2-го типу n=2	0,011
10	Змішаний 2-го типу n=3	0,0088
11	Змішаний 2-го типу n=4	0,009
12	Змішаний 2-го типу n=5	0,010

Критерій згоди, як показує аналіз останньої таблиці, приймає мінімальне значення для змішаного закону розподілу другого типу з істотним параметром n=3. Тому приймається гіпотеза про те, що похибки даної вибірки розподілені по даному закону.

Гістограма даної вибірки і крива щільності розподілу змішаного закону другого типу з істотним параметром рівним 3 представлені на рис. 3.16.

Вибірка похибок вимірювання дистанції розділена на 20 розрядів з довжиною кожного розряду рівній половині значення σ ($\sigma=2,38$ м). Статистичний ряд і вибірка випадкових похибок дистанції приведені в табл. 3.7.

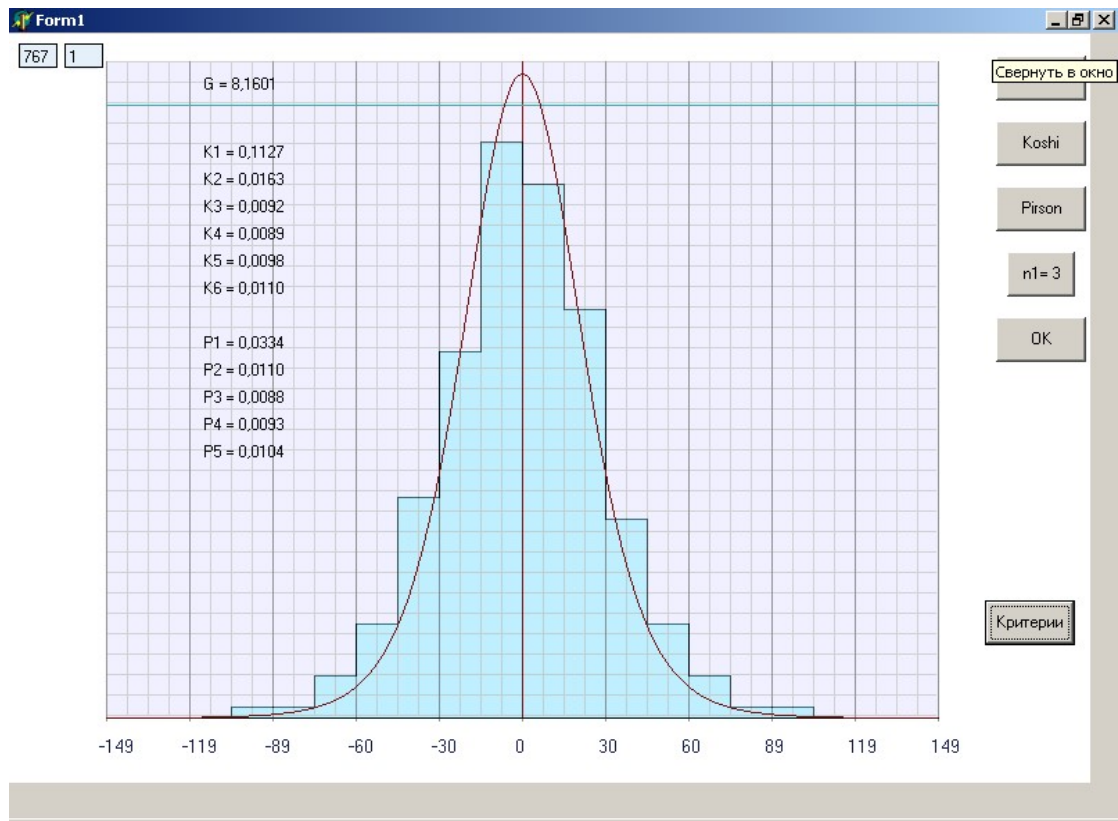


Рисунок 3.16 – Гістограма першої вибірки

Таблиця 3.7 – Статистичний ряд і вибірка похибки вимірювання дистанції

Роз- ряд	1- 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18- 20
N	0	1	1	4	9	21	39	55	51	35	19	9	4	1	1	0
Вибірка																
-7,43, -6,34, -5,15, -4,95, -4,95, -5,35, -4,56, -4,06, -3,66, -4,56, -4,36, -4,06, -4,66, -3,96, -3,86, -3,27, -3,07, -2,67, -3,17, -2,97, -3,47, -3,57, -3,47, -3,07, -2,97, -2,57, -2,47, -2,67, -2,77, -3,57, -2,47, -2,87, -2,87, -3,07, -3,07, -2,18, -1,98, -1,28, -2,08, -1,68, -1,38, -2,18, -1,38, -1,58, -1,68, -1,88, -2,38, -1,98, -2,28, -1,48, -2,28, -1,88, -2,08, -1,88, -1,38, -1,88, -2,08, -2,38, -2,38, -2,28, -2,18, -2,18, -1,88, -1,98, -1,48, -1,98, -2,08, -1,88, -2,28, -1,98, -1,88, -1,68,																

Продовження таблиці 3.7

Роз- ряд	1- 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18- 20
N	0	1	1	4	9	21	39	55	51	35	19	9	4	1	1	0
Вибірка																
-0,49, -1,19, -0,99, -0,39, -0,69, -0,08, -1,19, -0,89, -0,49, -0,19, -0,19, -0,19, -0,79, -0,89, -0,79, -0,19, -0,19, -0,99, -1,09, -0,19, -0,99, -0,08, -0,08, -1,19, -0,19, -0,99, -0,19, -0,49, -0,79, -0,99, -1,19, -0,29, -1,19, -0,08, -0,39, -1,09, -0,89, -0,39, -0,19, -0,99, -0,89, -0,79, -0,79, -1,19, -0,08, -1,09, -0,99, -0,19, -0,39, -0,19, -0,79, -0,59, -0,59, 0,2, 0,4, 0,6, 0,6, 0,5, 0,1, 0,6, 0,4, 0,2, 0,8, 0,8, 0,9, 0,1, 0,8, 0,1, 0,3, 0,4, 1,1, 0,6, 1,1, 0,4, 0,4, 1,1, 0,7, 0,3, 0,1, 0,4, 0, 0,7, 0,5, 0,2, 0,4, 0,6, 0,1, 0,2, 1,1, 0,1, 0,2, 0, 0,5, 0,4, 0,9, 1,1, 0,1, 1,1, 1,1, 0,2, 0,4, 0,1, 1,1, 0,8, 0,5, 0,4, 1,99, 2,09, 2,19, 1,39, 2,09, 2,29, 2,19, 1,39, 2,19, 1,79, 1,79, 1,99, 1,19, 1,79, 1,89, 2,09, 1,49, 1,19, 2,29, 1,59, 1,89, 2,09, 1,59, 2,29, 2,29, 1,69, 2,09, 1,69, 1,59, 2,19, 1,59, 1,89, 1,89, 1,99, 1,69, 2,29, 2,19, 2,38, 2,58, 2,78, 3,18, 2,98, 3,08, 2,38, 2,68, 2,68, 2,68, 3,48, 3,48, 2,98, 2,98, 3,48, 3,08, 2,58, 2,98, 3,28, 2,38, 4,27, 4,17, 4,07, 4,57, 3,57, 3,87, 3,67, 3,97, 3,57, 5,06, 5,56, 5,66, 5,76, 6,65, 7,24.																

У табл. 3.8 представлені значення критерію згоди χ^2 – Пірсону вказаної вибірки для даних законів розподілу.

Таблиця 3.8 – Значення критерію згоди χ^2 – Пірсону другої вибірки

N п/п	Закон розподілу	Критерій згоди χ^2 – Пірсону
1	Гаусу	7,237
2	Змішаний 1-го типу n=1	0,112
3	Змішаний 1-го типу n=2	0,016
4	Змішаний 1-го типу n=3	0,009
5	Змішаний 1-го типу n=4	0,0088

Продовження таблиці 3.8

№ п/п	Закон розподілу	Критерій згоди χ^2 – Пірсону
6	Змішаний 1-го типу n=5	0,009
7	Змішаний 1-го типу n=6	0,011
8	Змішаний 2-го типу n=1	0,033
9	Змішаний 2-го типу n=2	0,011
10	Змішаний 2-го типу n=3	0,0089
11	Змішаний 2-го типу n=4	0,009
12	Змішаний 2-го типу n=5	0,010

Критерій згоди, як показує аналіз останньої таблиці, приймає мінімальне значення для змішаного закону розподілу першого типу (узагальненого Коші) з істотним параметром n=4. Тому приймається гіпотеза про те, що похибки другої вибірки розподілені по даному закону.

Гістограма другої вибірки і крива щільності розподілу змішаного закону першого типу з істотним параметром рівним 4 представлені на рис. 3.17.

Підсумкові результати натурних спостережень приведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Підсумкові результати натурних спостережень

№ вибірки	Навігац. параметр	Кільк. членів	Закон розпод.	χ^2	Термін спостер.
1	пеленг	250	2-го типу n=3	0,0088	2 діб
2	дистанція	250	1-го типу n=4	0,0088	2 діб

Аналіз підсумкової таблиці показує, що похибки вимірювання пеленга і дистанції на інтервалі часу двох доби підлеглі змішаним законам розподілу, ступінь відмінності яких від нормального закону значний.

Тому при оцінці гранично - допустимої дистанції зближення d_d стохастичну складову R_{st} слід розраховувати в припущенні розподілу векторіальної похибки по змішаному закону другого типу з істотним параметром n =2.

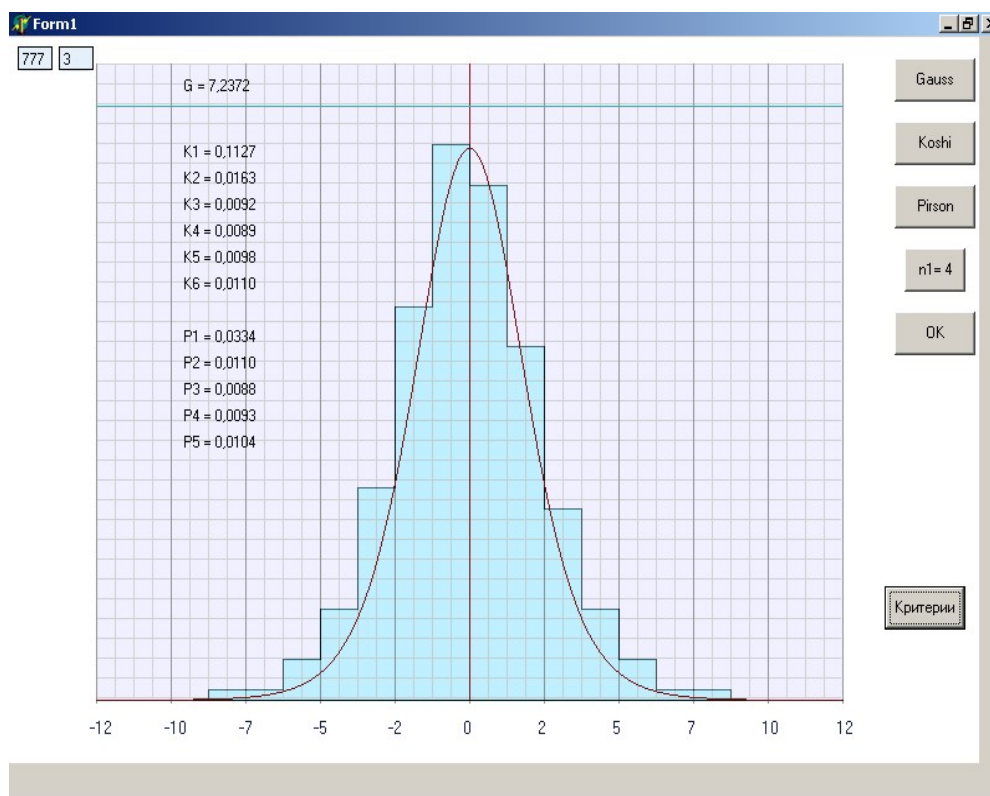


Рисунок 3.17 – Гістограма другої вибірки

3.7. Висновки за третім розділом

В розділі приведені матеріали і методи, які необхідні для вирішення поставленої в дисертаційній роботі головної задачі, а також представлена суть принципу формування області небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна, як і застосування її для вибору безпечного маневру розходження. Розглянуто ситуативне збурення у разі небезпечного зближення суден і оцінка його рівня безпеки, показано, що при зближенні декількох суден використовується матриця ситуативного збурення. Проаналізовані типи управління процесом розходження суден при небезпечному зближенні. Показано, що класичним типом управління процесом розходження є локально-незалежне управління, яке передбачає застосування системи бінарної координації, яка в даний час реалізована в МППЗС-72. Системи управління

рухом суден застосовують для процесу їх розходження принцип повного зовнішнього управління, переваги якого розглянуті в розділі.

В розділі показано, що доцільна розробка процедури формалізації області небезпечних курсів і швидкостей пари суден при локально-незалежному управлінні їх процесом розходження, що значно розширить можливості безпечної розходження суден в ситуації небезпечного зближення, що є рішенням першої допоміжної задачі.

Для цього типу управління процесом розходження суден запропонований спосіб оцінки ситуації зближення пари суден і вибору маневру їх розходження за допомогою області небезпечних курсів суден, що зближуються, причому можливе урахування інерційності судна при повороті і наявність навігаційних небезпек, які знаходяться в районі маневрування.

За ситуації, коли розходження суден зміною курсів ускладнено, показано, що може бути використана область небезпечних швидкостей суден для вибору маневру розходження зміною їх швидкостей, розглянуто спосіб формування області небезпечних швидкостей і її застосування для аналізу ситуації зближення суден і, у разі потреби, приведена процедура вибору оптимального маневру розходження за допомогою розглянутої області, що є рішенням другої допоміжної задачі.

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

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

Основні результати розділу опубліковані в роботах [6, 11–14].

РОЗДІЛ 4.

ОПЕРАТИВНИЙ ВИБІР СТРАТЕГІЇ РОЗХОДЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЛАСТІ НЕБЕЗПЕЧНИХ КУРСІВ І ШВИДКОСТЕЙ

4.1. Визначення безпечного сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик.

Розділ присвячений рішенням третьої допоміжної задачі – визначення безпечного сумісного маневру розходження суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик.

Урахування інерційності повороту першого судна і інерційно-гальмівних характеристик другого судна при формуванні меж області Ω_{KVf} припускає для кожного курсу K_{ly} першого судна визначити швидкість гальмування другого судна V_{2y} , при якій судна розійдуться на дистанції найкоротшого зближення D_{min} рівної гранично - допустимої дистанції d_d . При розрахунку швидкості гальмування другого судна передбачається зниження його швидкості до значення V_{2y} , а потім проходження з цією швидкістю до моменту часу найкоротшого зближення, після чого друге судно збільшує швидкість до початкового значення.

Передбачається, що маневри обох суден починаються в нульовий момент часу. У загальному випадку спосіб визначення кожної точки (K_{ly}, V_{2y}) межі області Ω_{KVf} полягає в наступному.

Визначається момент часу закінчення повороту t_{yk} першого судна і приросту його координат за час повороту з урахуванням динамічної моделі обертального руху. У цей момент часу визначаються поточні значення координат суден, пеленг і дистанція між суднами. Для визначення приросту координат другого судна визначається його швидкість $V_{2t}(t_{yk})$ на момент часу

t_{yk} , а потім середня швидкість $V_{2m} = V_2 + [V_{2t}(t_{yk}) - V_2]/2$ і пройдена відстань, що зменшується $S_{2m} = V_{2m} t_{yk}$.

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

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

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

Незалежно від режиму гальмування другого судна інтервал часу повороту

першого судна і приросту його координат за час повороту оцінюється за допомогою динамічної моделі обертального руху. У першому наближенні скористаємося моделлю повороту судна з постійною кутовою швидкістю.

$$\tau_1 = \Delta K / a_{\omega}, \quad (4.1)$$

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

a_{ω} - кутова швидкість повороту.

Приріст координат Δx_o і Δy_o першого судна за час маневрування τ_1 визначається наступними виразами [34]:

$$\begin{aligned} \Delta x_o &= \frac{V_o}{a_{\omega}} (\cos K_1 - \cos K_{ly}^{(s)}), \\ \Delta y_o &= \frac{V_o}{a_{\omega}} (\sin K_{ly}^{(s)} - \sin K_1). \end{aligned} \quad (4.2)$$

У разі застосування складніших і адекватніших динамічних моделей обертального руху судна слід враховувати дві фази повороту судна [34], тривалість яких Δt_k і Δt .

Зміна курсу судна K під дією керма в другій динамічній моделі обертального руху судна описується неоднорідним лінійним диференціальним рівнянням, що має вигляд [104]:

$$T_1 \ddot{K} + \dot{K} = k_{\omega} \beta_k,$$

де T_1 - постійна часу, яка враховує інерційні властивості судна.

Для обчислення інтервалів часу Δt_k і Δt необхідно скласти систему рівнянь, яка в загальному випадку формалізує вимоги повороту на заданий приріст курсу ΔK , а також зменшення до нуля кутової швидкості на момент часу виходу на новий курс, і має наступний вигляд [22]:

$$\Delta t_k = T_1 [1 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] + \Delta t - T_1 [2 - \exp(-\Delta t_k / T_1)][1 - \exp(-\Delta t / T_1)] + \Delta K / a_\omega,$$

$$\Delta t = T_1 \ln [2 - \exp(-\Delta t_k / T_1)].$$

Розрахунок Δt_k і Δt здійснюється методом простих ітерацій [97] з початковим наближенням $\Delta t_k = \Delta K / a_\omega$.

Останнє одержане рівняння дозволяє зв'язати змінні тривалості Δt_k і Δt , чим забезпечується ітераційне обчислення величин кожної з фаз повороту судна, а також тривалості повороту τ з одного заданого курсу судна на інший.

Для розрахунку поправок до моментів його повороту, що враховують інерційність судна, необхідно обчислювати приріст координат Δx_o і Δy_o оперуючого судна за час повороту τ . Очевидно, що:

$$\Delta x_o = \int_0^{\Delta t_k} V_o \sin[K_o + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_o \sin[K_o + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt,$$

$$\Delta y_o = \int_0^{\Delta t_k} V_o \cos[K_o + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_o \cos[K_o + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt.$$

Звертаємо увагу на ту обставину, що визначені інтеграли, які входять у вирази для Δx_o і Δy_o , не виражаються в елементарних функціях і їх значення знаходяться чисельними методами, наприклад, використовується метод трапецій або, що дає більш точні результати, метод Сімпсона.

Третя динамічна модель зміни курсу судна K при його повороті описується неоднорідним лінійним диференціальним рівнянням третього порядку з постійними коефіцієнтами, яке має наступний вигляд [104]:

$$T_1 T_2 \ddot{K} + (T_1 + T_2) \dot{K} + K = K_{\omega} \beta_k ,$$

де T_1 і T_2 – постійні часу, які характеризують інерційні властивості судна.

Тривалість першої Δt_k і другої Δt фази повороту судна знаходяться методом простих ітерацій з системи рівнянь [22]:

$$\begin{aligned} \Delta t_k = & \Delta t + \{T_1^2 [1 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-\Delta t_k / T_2)]\} / (T_1 - T_2) - \\ & - \{2 - [T_1 \exp(-\Delta t_k / T_1) - T_2 \exp(-\Delta t_k / T_2)] / (T_1 - T_2)\} \times \\ & \{T_1^2 [1 - \exp(-\Delta t / T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-\Delta t / T_2)]\} / (T_1 - T_2) + \Delta K / a_{\omega} . \\ \Delta t = & -T_1 \ln \{ (T_2 / T_1) \exp(-\Delta t / T_2) + [(T_1 - T_2) / T_1] \times \\ & \{2 - [T_1 \exp(-\Delta t_k / T_1) - T_2 \exp(-\Delta t_k / T_2)] / (T_1 - T_2)\}^{-1} \} . \end{aligned}$$

Після визначення приросту координат першого судна в результаті повороту для початкової швидкості другого судна V_2 і режиму гальмування (активного або пасивного) розраховується вибіг судна S і інтервал часу τ_2 до зупинки судна. Координати першого X_1 , Y_1 і другого X_2 , Y_2 суден на момент часу зупинки другого судна приймають значення:

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

де α – початкові пеленг з другого судна на перше;

D – дистанція між суднами.

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

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

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

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

де α_f – пеленг на друге судно у момент його зупинки.

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

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

Значення швидкості V_{2y} розраховується методом послідовних наближень, в якому швидкість гальмування другого судна приймається рівною $V_{2y} = V_2 - 0,1i$ на кожному i -му циклі обчислень. Тривалість перехідного процесу $\tau(V_{2y})$ і пройдена за цей час відстань $S(V_{2y})$ для активного гальмування розраховуються за допомогою наступних виразів (3.11), приведених в третьому розділі:

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

$$S(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{2y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right|, \quad (4.3)$$

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

P – упор його гвинта;

μ – коефіцієнт опору.

У разі пасивного гальмування використовуємо вирази (3.12) попереднього розділу:

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

$$S(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2}{V_{2y}^2} \right|. \quad (4.4)$$

Процес обчислень продовжується до тих пір, поки не настає справедливості рівності:

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

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

Для формування області Ω_{KVj} небезпечних курсів одного судна і швидкостей другого судна з урахуванням інерційно - гальмівних характеристик другого судна була розроблена комп'ютерна програма, що реалізовує

запропонований в роботі алгоритм розрахунку межі області.

Як приклад була розглянута ситуація небезпечного зближення суден з параметрами: $\alpha=130^\circ$, $D=3$ милі, $K_1=130^\circ$, $V_1=22$ вузла, $K_2=315^\circ$, $V_2=18$ вузлів, $D_d=1$ миля, графічне зображення якої представлено на рис. 4.1. Прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення рівне $D_{\min}=0,1$ милі, що свідчить про небезпечне зближення суден.

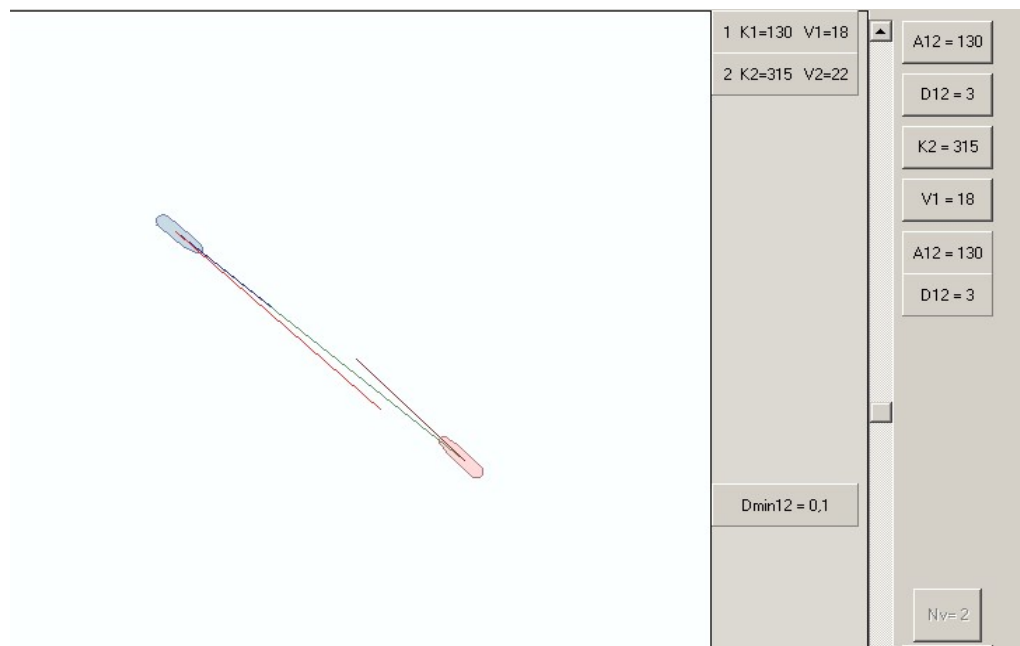


Рисунок 4.1 – Ситуація небезпечного зближення суден

Для приведеної ситуації небезпечного зближення суден на рис. 4.2 показана область Ω_{KVj} при зниженні швидкості другого судна пасивним гальмуванням. Поєднання параметрів розходження суден $K_{ly}^{(s)}$ і V_{2y} на межі області забезпечує дистанцію найкоротшого зближення $D_{\min f}=1$ миля. На рис. 4.2 вибрана стратегія розходження суден з параметрами $K_{ly}^{(s)}=163^\circ$ і $V_{2y}=15,6$ вузла (точка межі показана концентричними колами), які забезпечують найкоротшу дистанцію розходження $D_{\min f}=1,01$ милі.

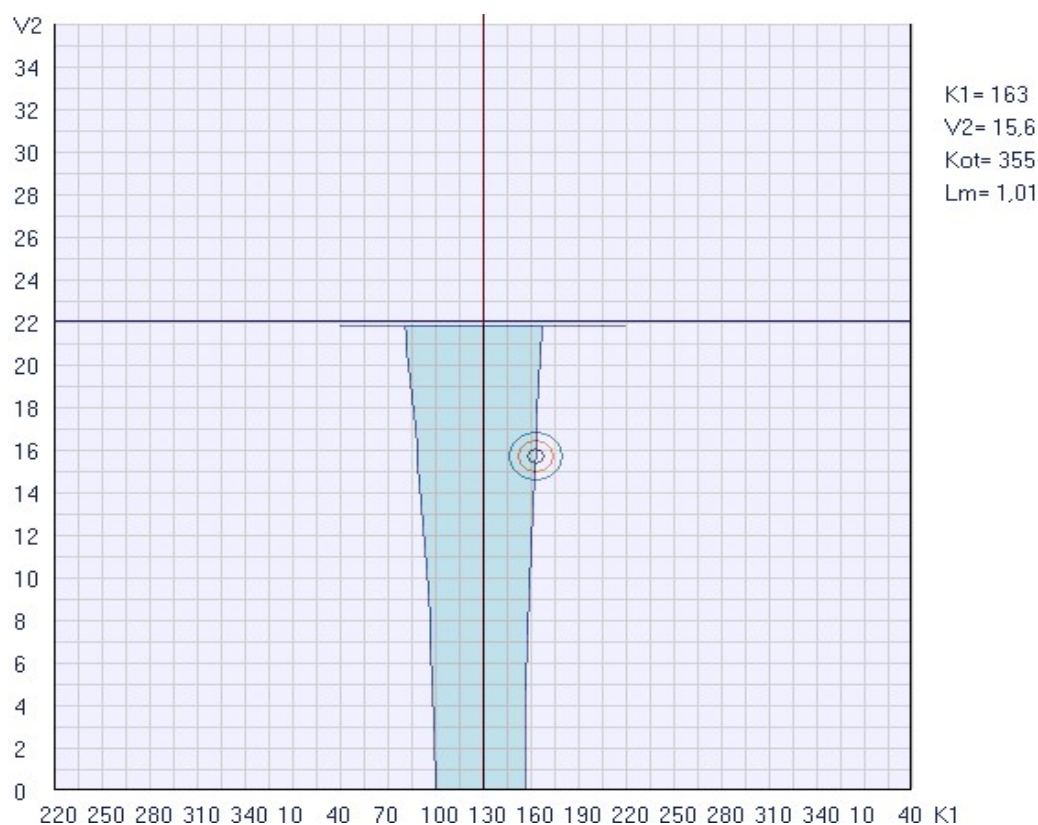


Рисунок 4.2 – Область Ω_{KVj} при пасивному гальмуванні другого судна

При ухиленні першого судна управо на 33° для безпечної розходження другим судном потрібно було понизити швидкість пасивним гальмуванням на 6,4 вузли.

Для тієї ж ситуації небезпечного зближення програмою була сформована область Ω_{KVj} при активному гальмуванні другого судна, показана на рис. 4.3.

На межі області Ω_{KVj} вибрана точка, відповідна параметрам стратегії розходження суден $K_{ly}^{(p)} = 85^\circ$ і $V_{2y} = 18,4$ вузла, при яких значення дистанції найкоротшого зближення досягає величини $D_{\min f} = 1,00$ милі, а розходження суден стає безпечним.

В даному випадку при ухиленні першого судна вліво на 35° для безпечної розходження другим судном потрібно було понизити швидкість активним гальмуванням всього на 3,6 вузли.

Розглянемо в районі передбачуваного маневрування наявність третього судна, яке не задіяне в процесі розходження, проте обмежує маневр розходження суден, оскільки може створити загрозу небезпечного зближення з одним з них, або з обома суднами. Таке третє судно називатимемо тим, що заважає. За наявності судна, що заважає, параметри маневру розходження K_{1y} і V_{2y} для безпечної розходження повинні задовольняти умові переваги дистанцій найкоротшого зближення між суднами над гранично - допустимою дистанцією зближення, що аналітично виражає таким чином:

$$\begin{cases} \min D_{12}(K_{1y}, V_{2y}) \geq d_d, \\ \min D_{13}(K_{1y}) \geq d_d, \\ \min D_{23}(V_{2y}) \geq d_d. \end{cases} \quad (4.5)$$

При цьому дуже важливим є співвідношення прогнозованих значень часу найкоротшого зближення кожної пари суден, які залежать від початкових параметрів їх руху. Очевидно, за наявності судна, що заважає, слід розглядати три значення часу найкоротшого зближення $\min t_{12}$, $\min t_{13}$ і $\min t_{23}$. Найчастіше ситуація небезпечного зближення з судном, що заважає, характеризується співвідношенням $\min t_{12} > \min t_{13} > \min t_{23}$. В цьому випадку для маневруючих першого і другого суден слід сформулювати область Ω_{KVj} неприпустимих курсів першого судна і швидкостей другого судна з урахуванням режиму гальмування, чим враховується перша рівність системи (4.5). Після вибору безпечного маневру розходження, як точки (K_{1y}, V_{2y}) межі області Ω_{KVj} необхідно розрахувати значення дистанцій найкоротшого зближення $\min D_{13}(K_{1y})$ і $\min D_{23}(V_{2y})$ відповідно першого і третього, а також другого і третього суден.

Дистанція найкоротшого зближення $\min D_{13}(K_{1y})$ між першим і третім

суднами визначається, виходячи з таких міркувань. Якщо позначити дистанцію між першим і третім суднами після повороту першого судна на курс ухилення K_{1y} через D_{13k} , а пеленг – α_{13k} , то, враховуючи, що обидва судна слідуєть з незмінними параметрами руху K_{1y} , V_1 і K_3 , V_3 , найкоротша дистанція визначається по відомій залежності [34]:

$$\min D_{13}(K_{1y}) = |D_{13k} \sin(K_{oty13} - \alpha_{13k})|, \quad (4.6)$$

де K_{oty13} – відносний курс, який розраховується по формулі [34]:

$$K_{oty13} = \arcsin \left[\frac{(V_1 \sin K_{1y} - V_3 \sin K_3)}{[V_1^2 + V_3^2 - 2V_1 V_3 \cos(K_{1y} - K_3)]^{1/2}} \right].$$

Для визначення дистанції D_{13k} і пеленга α_{13k} необхідно знайти різницю координат ΔX_{13k} і ΔY_{13k} між першим і третім суднами після завершення повороту першого судна, виходячи із значень початкових пеленга α_n і дистанції D_n .

Очевидно:

$$\Delta X_{13k} = D_{13n} \sin \alpha_{13n} - \Delta x_o - V_3 \tau_1 \sin K_3,$$

$$\Delta Y_{13k} = D_{13n} \cos \alpha_{13n} - \Delta y_o - V_3 \tau_1 \cos K_3,$$

де Δx_o і Δy_o – приріст координат першого судна за час повороту, які визначаються виразами (4.1) і (4.2).

Значення дистанції D_{13k} і пеленга розраховуються за допомогою виразів:

$$D_{13k} = \sqrt{\Delta X_{13k}^2 + \Delta Y_{13k}^2},$$

$$\alpha_{13k} = \arcsin \frac{\Delta X_{13k}}{D_{13k}}.$$

У свою чергу, для визначення дистанції найкоротшого зближення $\min D_{23}(V_{2y})$ між другим і третім суднами необхідно розрахувати дистанцію D_{23k} і пеленг α_{23k} між ними у момент часу закінчення гальмування другого судна, коли його швидкість розходження V_{2y} стане незмінною. Для цього необхідно знайти різницю координат ΔX_{23k} і ΔY_{23k} між першим і третім суднами на вказаний момент часу:

$$\Delta X_{23k} = D_{23n} \sin \alpha_{23n} - S \sin K_2 - V_3 \tau_b \sin K_3,$$

$$\Delta Y_{23k} = D_{23n} \cos \alpha_{23n} - S \cos K_2 - V_3 \tau_b \cos K_3,$$

де α_{23n} і D_{23n} – початкові пеленг і дистанція між другим і третім суднами;

τ_b і S – час гальмування другого судна і пройдена за цей час відстань, розрахунок яких проводиться за допомогою виразів (4.3) або (4.4) залежно від режиму гальмування.

Дистанція D_{23k} і пеленг α_{23k} обчислюються за допомогою формул:

$$D_{23k} = \sqrt{\Delta X_{23k}^2 + \Delta Y_{23k}^2},$$

$$\alpha_{23k} = \arcsin \frac{\Delta X_{23k}}{D_{23k}}.$$

Дистанція найкоротшого зближення $\min D_{23}(V_{2y})$ між другим і третім

суднами визначається за допомогою виразу:

$$\min D_{23}(V_{2y}) = |D_{23k} \sin(K_{oty23} - \alpha_{23k})|, \quad (4.7)$$

де K_{oty23} – відносний курс, який розраховується по формулі:

$$K_{oty23} = \arcsin \left[\frac{(V_{2y} \sin K_2 - V_3 \sin K_3)}{[V_{2y}^2 + V_3^2 - 2V_{2y}V_3 \cos(K_2 - K_3)]^{1/2}} \right].$$

Для оцінки безпеки маневру розходження суден за наявності третього судна, що заважає, була розроблена комп'ютерна програма, яка при виборі маневру розходження, відповідного певній точці межі області Ω_{KVj} , розраховує також дистанції $\min D_{13}(K_{1y})$ і $\min D_{23}(V_{2y})$, виводить їх значення на екран монітору і порівнює з гранично - допустимої дистанцією зближення.

Як приклад на рис. 4.4 приведена четверта стандартна ситуація небезпечного зближення суден за наявності третього судна, що заважає, яка характеризується параметрами: $\alpha_{12}=313^\circ$, $D_{12}=3$ милі, $K_1=339^\circ$, $V_1=22$ вузла, $K_2=102^\circ$, $V_2=18$ вузлів, $d_d=1$ миля, $\alpha_{13}=25^\circ$, $D_{13}=3$ милі, $K_3=224^\circ$, $V_3=18$ вузлів. Зниження швидкості другим судном проводиться активним гальмуванням. На рис. 4.9 показана область Ω_{KVj} небезпечних параметрів курсу одного судна і швидкості другого судна для приведеної ситуації зближення трьох суден.

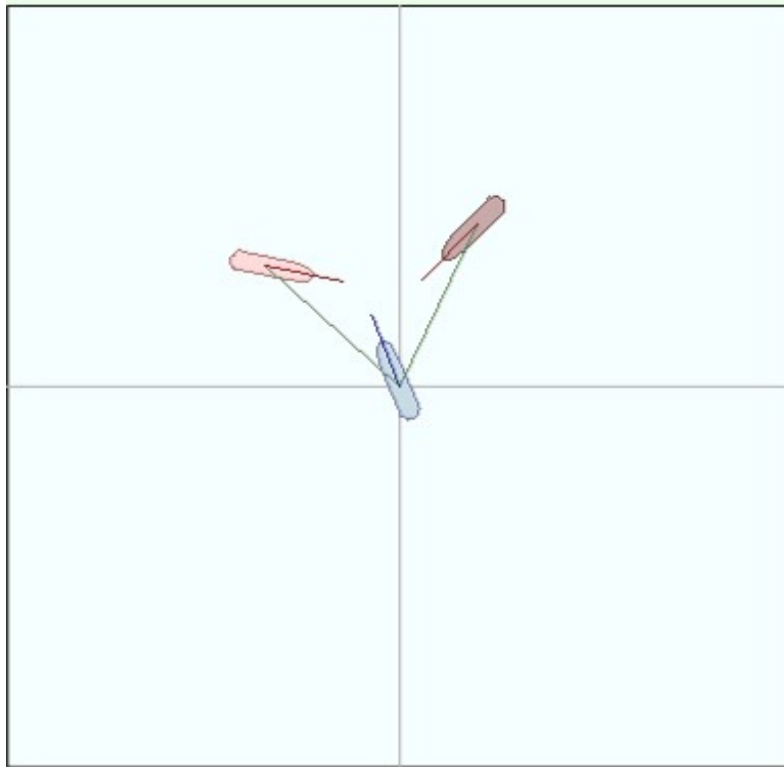


Рисунок 4.4 – Четверта стандартна ситуація зближення трьох суден

Вибрано маневр розходження, відповідний точці межі області Ω_{KVj} з параметрами $K_{1y}=4^\circ$, $V_{2y}=13,9$ вузлів. За допомогою виразів (4.6) і (4.7) програмою були розраховані дистанції найкоротшого зближення $\min D_{13}(K_{1y})=0,16$ милі і $\min D_{23}(V_{2y})=0,60$ милі, які менші гранично - допустимої дистанції зближення. Дана обставина на рис. 4.5 відображена в червоному кольорі інформаційних панелей дистанцій найкоротшого зближення.

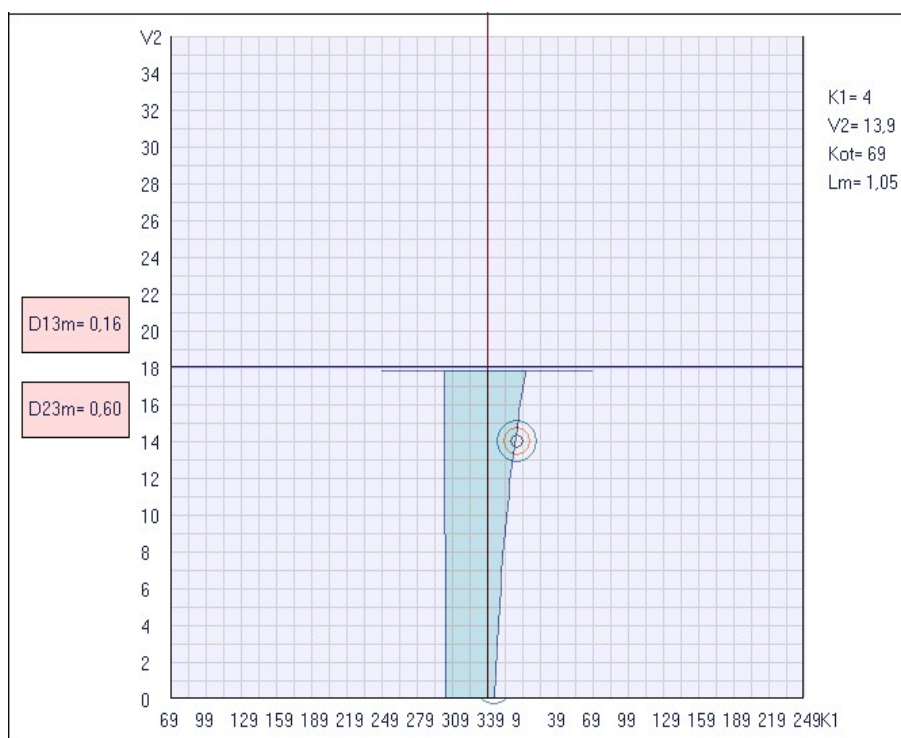


Рисунок 4.5 – Вибір маневру розходження, небезпечного для третього судна

На рис. 4.6 вибраний інший маневр розходження з параметрами $K_{1y} = 349^\circ$ і $V_{2y} = 4,5$ вузла. В цьому випадку дистанція найкоротшого зближення $\min D_{13}(K_{1y}) = 0,59$ милі і $\min D_{23}(V_{2y}) = 1,20$ милі. Такий маневр розходження також є неприйнятним, оскільки при допустимих дистанціях найкоротшого зближення $\min D_{12}(K_{1y}, V_{2y})$ і $\min D_{23}(V_{2y})$ дистанція $\min D_{13}(K_{1y})$ не забезпечує безпечну розходження суден.

Тому була здійснена ще одна спроба вибору безпечного маневру розходження, результати чого показані на рис. 4.7. На межі області Ω_{KVj} вибраний маневр з параметрами $K_{1y} = 296^\circ$ і $V_{2y} = 7,15$ вузла. Як впливає з рисунка, перше і друге судна розходяться на дистанції 1,08 милі, дистанції $\min D_{13}(K_{1y}) = 2,04$ милі і $\min D_{23}(V_{2y}) = 1,03$ милі перевершують гранично - допустиму дистанцію зближення. Вибраний маневр безпечний для всіх трьох суден, що підтверджує зелений колір інформаційних панелей дистанцій

найкоротшого зближення.

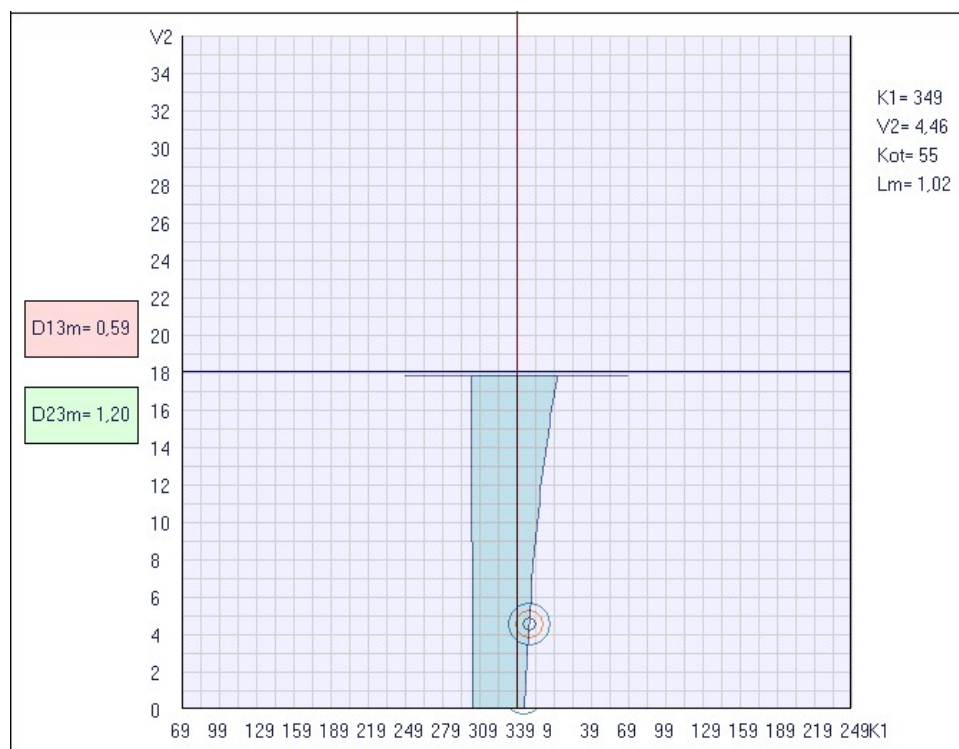


Рисунок 4.6 – Маневр з одним небезпечним зближенням

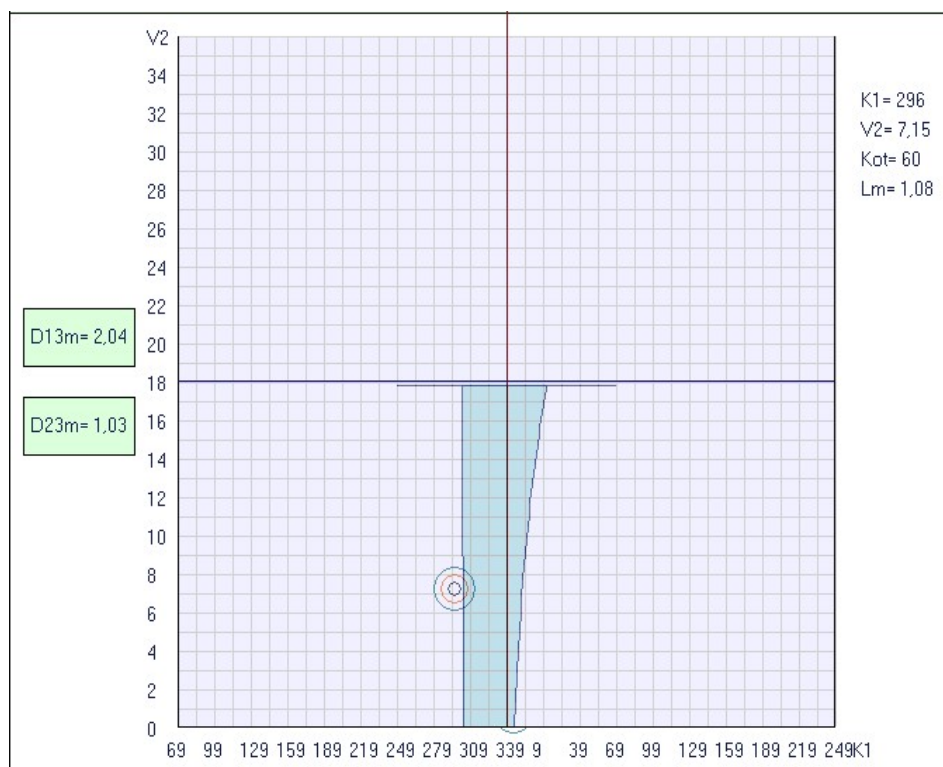


Рисунок 4.7 – Маневр розходження безпечний для всіх суден

Розглянемо ситуацію зближення трьох суден, коли для зниження швидкості друге судно застосовує пасивне гальмування. Такою ситуацією вибрана перша стандартна ситуація зближення трьох суден (рис. 4.8).

Вибрана ситуація характеризується параметрами: $\alpha_{12}=144^\circ$, $D_{12}=3$ милі, $K_1=130^\circ$, $V_1=22$ вузла, $K_2=315^\circ$, $V_2=18$ вузлів, $d_d=1$ миля, $\alpha_{13}=67^\circ$, $D_{13}=3$ милі, $K_3=225^\circ$, $V_3=18$ вузлів. Зниження швидкості проводиться пасивним гальмуванням.

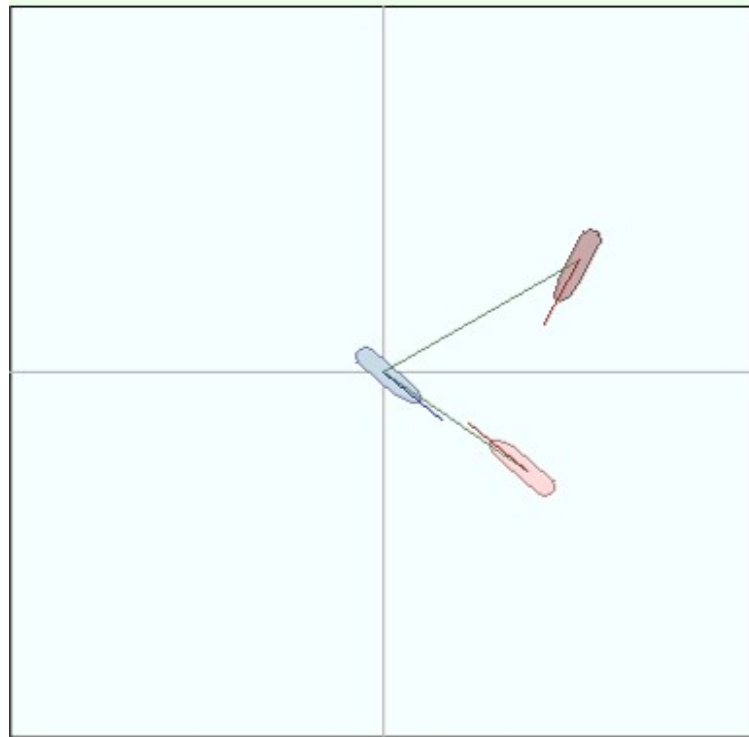


Рисунок 4.8 – Перша стандартна ситуація зближення трьох суден

На рис. 4.9 показана область Ω_{KVj} даної ситуації зближення трьох суден для пасивного гальмування і показано вибір маневру розходження з параметрами $K_{1y}=91^\circ$ і $V_{2y}=11,9$ вузла. Якщо дистанції найкоротшого зближення $\min D_{12}(K_{1y}, V_{2y})=1,00$ милі і $\min D_{23}(V_{2y})=1,11$ милі є

допустимими, то дистанція найкоротшого зближення $\min D_{13}(K_{1y})=0,20$ не забезпечує безпечного розходження першого і третього суден.

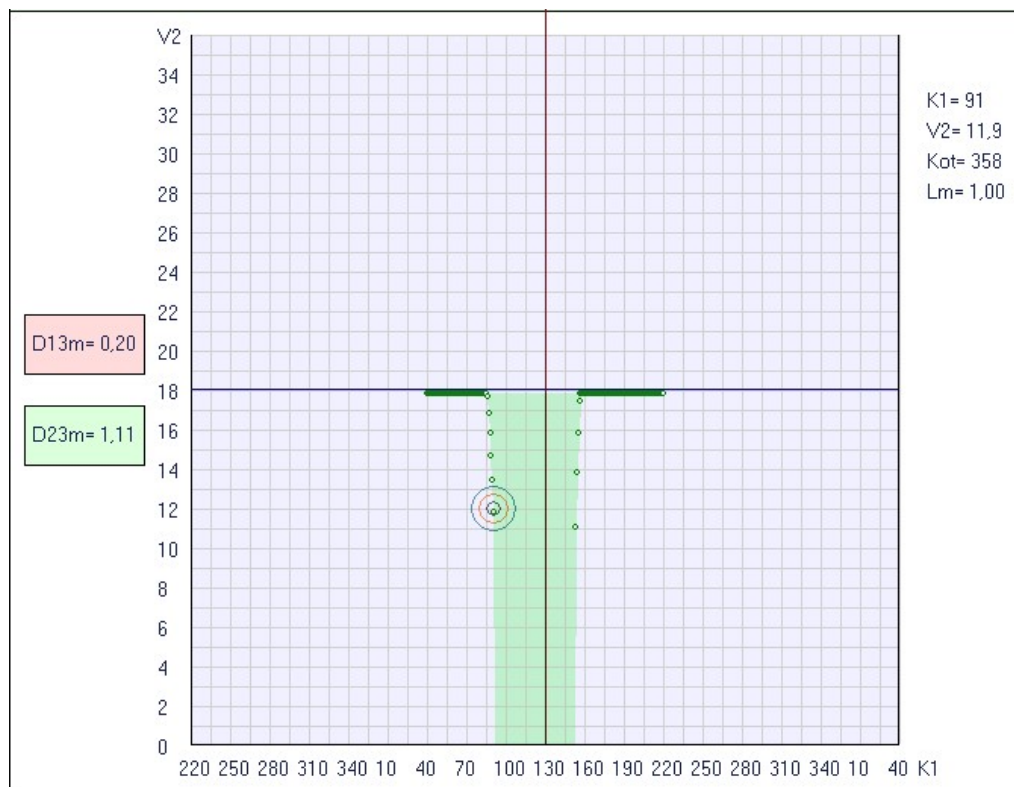


Рисунок 4.9 – Маневр з небезпечним зближенням першого і третього суден

При виборі маневру розходження з параметрами $K_{1y}=153^\circ$ і $V_{2y}=11$ вузлів дистанції найкоротшого зближення всіх суден, як впливає з рис. 4.10, не менше гранично-допустимої дистанції зближення. Тому даний маневр є безпечним.

Як показали приведені приклади, для коректного вибору безпечного маневру розходження трьох суден необхідно одержати умови, при яких дистанції найкоротших зближень $\min D_{13}(K_{1y})$ і $\min D_{23}(V_{2y})$ перевершують гранично - допустиму дистанцію зближення залежно від параметрів руху третього судна, що заважає. Спочатку розглянемо зближення першого і третього суден після повороту першого судна, для чого розглянемо рис. 4.11.

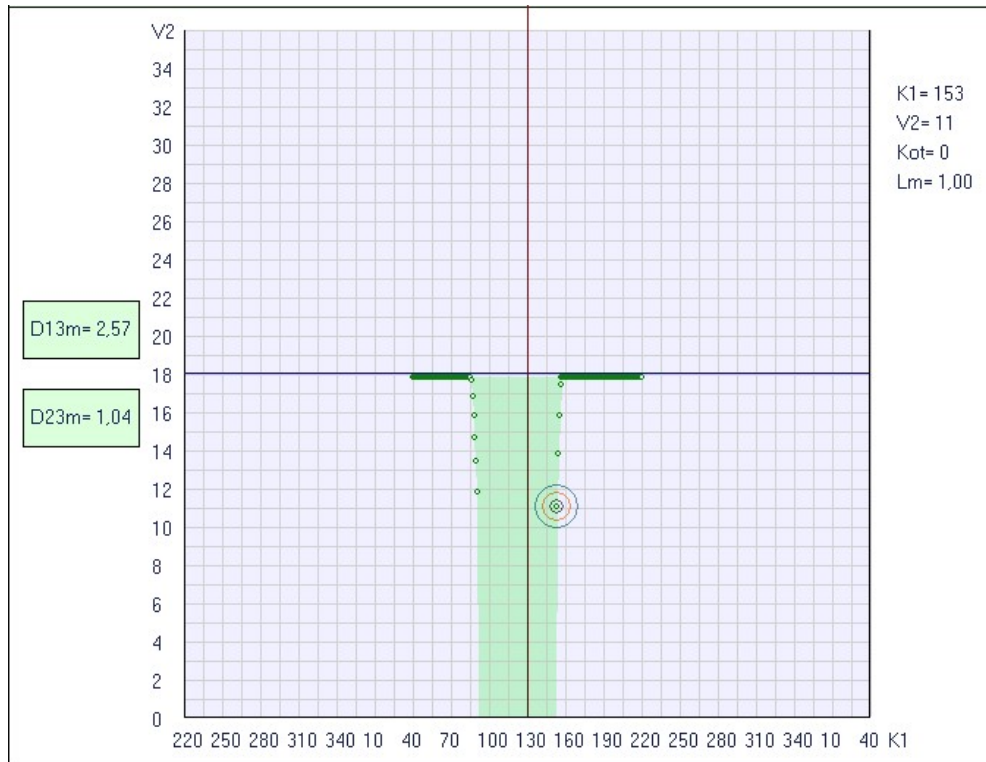


Рисунок 4.10 – Безпечний маневр розходження трьох суден

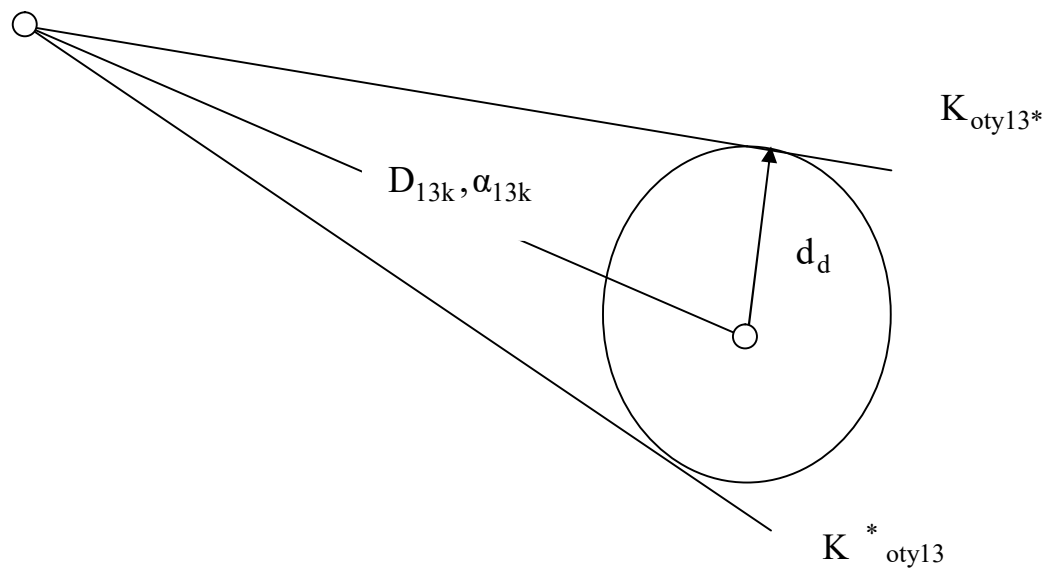


Рисунок 4.11 – Граничні відносні курси K_{oty13*} і K^*_{oty13}

З рис. 4.11 виходить, що відносні курси K_{oty13} першого і третього суден обмежені курсами K_{oty13*} і K_{oty13}^* , при яких дистанція найкоротшого зближення $\min D_{13}(K_{1y})$ рівна гранично - допустимій дистанції зближення. Для відносних курсів $K_{oty13} \in [K_{oty13*}, K_{oty13}^*]$ має місце нерівність $\min D_{13}(K_{1y}) < d_d$. Отже, для відносних курсів K_{oty13*} і K_{oty13}^* необхідно визначити відповідні граничні курси K_{1y*} і, які визначають можливості безпечної розходження першого і третього суден. У роботі [34] приведена залежність істинного курсу судна від відносного курсу, за допомогою якої одержимо:

$$\begin{aligned} K_{1y*} &= K_{oty13*} + \arcsin[p^{-1}\sin(K_3 - K_{oty13*})], \\ K_{1y}^* &= K_{oty13}^* + \arcsin[p^{-1}\sin(K_3 - K_{oty13}^*)], \end{aligned} \quad (4.8)$$

де $p = V_1 / V_3$;

$$K_{oty13*} = \alpha_{13k} - \arcsin \frac{d_d}{D_{13k}} \text{ і } K_{oty13}^* = \alpha_{13k} + \arcsin \frac{d_d}{D_{13k}}.$$

Отже, курс ухилення першого судна вибирається з умовою $K_{1y} \notin [K_{1y*}, K_{1y}^*]$.

Аналогічно визначаються граничні відносні курси другого і третього суден:

$$\begin{aligned} K_{oty23*} &= \alpha_{23k} - \arcsin \frac{d_d}{D_{23k}}; \\ K_{oty23}^* &= \alpha_{23k} + \arcsin \frac{d_d}{D_{23k}}. \end{aligned} \quad (4.9)$$

Проте, при зближенні другого і третього суден необхідно знайти обмеження на швидкість другого судна. Тому необхідно знайти залежність

швидкості судна від відносного курсу. Як впливає з роботи [34]:

$$\operatorname{tg} K_{\text{от}} = \frac{\sin K_{\text{от}}}{\cos K_{\text{от}}} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2}.$$

останнього виразу:

$$(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2) \cos K_{\text{от}} = (V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2) \sin K_{\text{от}},$$

або, групуючи складові по швидкостях суден:

$$V_2 (\cos K_2 \sin K_{\text{от}} - \sin K_2 \cos K_{\text{от}}) = V_1 (\cos K_1 \sin K_{\text{от}} - \sin K_1 \cos K_{\text{от}}).$$

У дужках останнього рівняння містяться вирази синуса різниці двох аргументів. З урахуванням цього запишемо:

$$V_2 \sin(K_{\text{от}} - K_2) = V_1 \sin(K_{\text{от}} - K_1).$$

З останнього виразу виходить:

$$V_2 = V_1 \frac{\sin(K_{\text{от}} - K_1)}{\sin(K_{\text{от}} - K_2)}.$$

Тому з урахуванням виразу (4.9) для граничних швидкостей при зближенні другого і третього суден можна записати:

$$\begin{aligned} V_{2y}^* &= V_3 \frac{\sin(K_{\text{от}23}^* - K_3)}{\sin(K_{\text{от}23}^* - K_2)}; \\ V_{2y^*} &= V_3 \frac{\sin(K_{\text{от}23^*} - K_3)}{\sin(K_{\text{от}23^*} - K_2)}. \end{aligned} \quad (4.10)$$

Для четвертої стандартної ситуації була одержана область Ω_{KVj} при активному гальмуванні другого судна, яка показана на рис. 4.12.

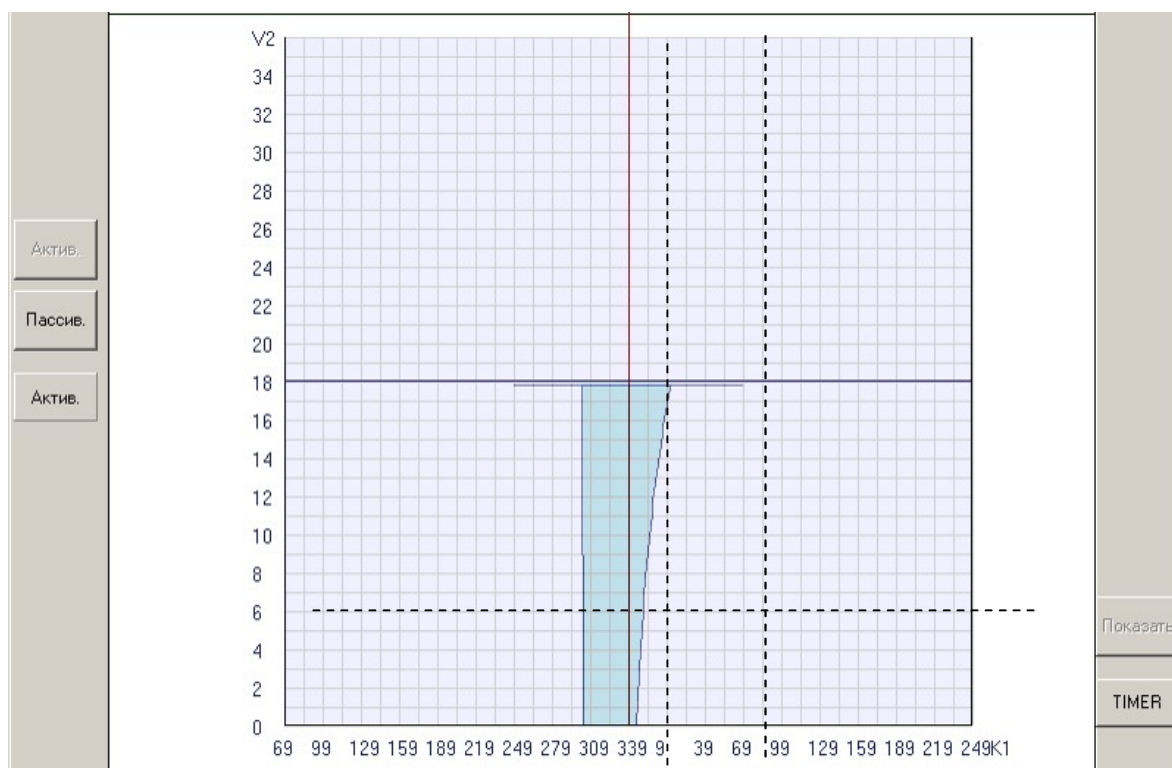


Рисунок 4.12 – Граничні курси і швидкості для четвертої стандартної ситуації

З допомогою виразу (4.9) були розраховані значення граничних курсів $K_{1y*}=334^\circ$ і $K_{1y}^*=45^\circ$, які на рис. 4.16 показані вертикальними лініями. Значення граничних швидкостей $V_{2y}^*=7,5$ вузлів і $V_{2y*}=0$ визначені за допомогою виразу (4.10) і показані горизонтальними лініями на рис. 4.12.

4.3. Висновки за четвертим розділом

У четвертому розділі розглянуті стратегії розходження суден, що небезпечно зближуються, за допомогою областей небезпечних курсів і швидкостей. Спочатку одержані процедури формування області небезпечних курсів одного судна і швидкостей другого судна з урахуванням їх

співвідношення швидкостей і динаміки. Приведене формування областей для випадку суден з незначними перехідними процесами зміни курсів і швидкостей, тривалістю яких можна нехтувати. Також розглянуті процедури формування областей небезпечних курсів одного судна і швидкостей другого судна, які мають значну інерційність. Одержані способи формування областей у разі зниження швидкості другого судна активним або пасивним гальмуванням. Приведені приклади вибору безпечного маневру розходження в ситуації небезпечного зближення двох суден.

Також розглянута складніша ситуація зближення двох суден за наявності третього судна, що заважає, і запропонований спосіб вибору безпечного маневру розходження з урахуванням третього судна, що заважає. Причому для такої ситуації запропоновані дві альтернативні процедури вибору безпечного маневру розходження.

Науковим результатом рішення третьої допоміжної задачі став спосіб формування області небезпечних курсів і швидкостей суден з урахуванням інерційно - гальмівних характеристик судна при визначенні безпечного сумісного маневру розходження також процедура урахуванням наявності третього судна, що заважає.

Основні результати розділу опубліковані в роботах [3, 5, 8, 10, 15].

РОЗДІЛ 5.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН СУМІСНИМ МАНЕВРОМ

Розв'язання головної задачі – вдосконалення методів розходження суден шляхом безпечного маневру розходження двох суден при наявності третього, що заважає.

5.1. Імітаційна програма визначення параметрів сумісного маневру розходження суден

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

Крім того, по теоретичних результатах дисертаційної роботи була розроблена комп'ютерна програма, що дозволяє формування ситуації небезпечного зближення суден і визначити параметри маневру розходження з подальшим його імітаційним моделюванням.

Комп'ютерна імітаційна програма також містить модуль моделювання процесу розходження суден маневром, параметри якого були розраховані іншим модулем. Відстежуючи програвання маневру розходження і його поточні параметри, робиться висновок про коректність розробленого способу вибору безпечного маневру розходження суден.

За допомогою комп'ютерної програми передбачена можливість вибору ситуації небезпечного зближення двох або трьох суден з урахуванням судна,

що заважає, як показано на рис 5.1. Спочатку розглянемо вибір ситуації небезпечного зближення двох суден, вибираючи клавішу «2 судна», внаслідок чого виводиться графічне відображення ситуації зближення двох суден (рис 5.2). Клавішею «ОК» підтверджується вибір типу ситуації і активізуються клавіші «Ситуац.» і «Синтез» (рис 5.3).

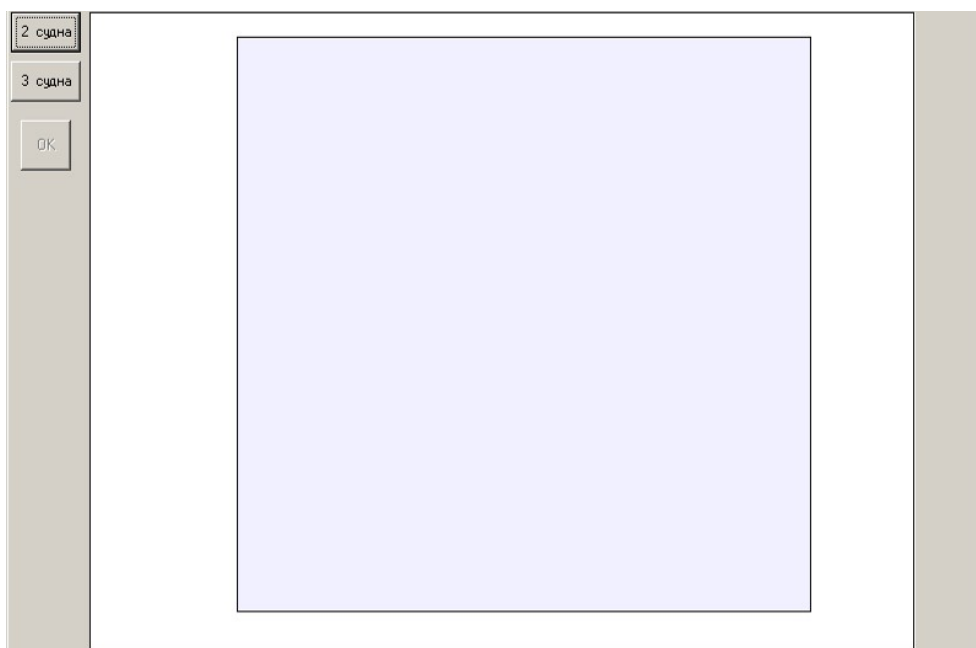


Рисунок 5.1 – Початок роботи з комп'ютерною програмою

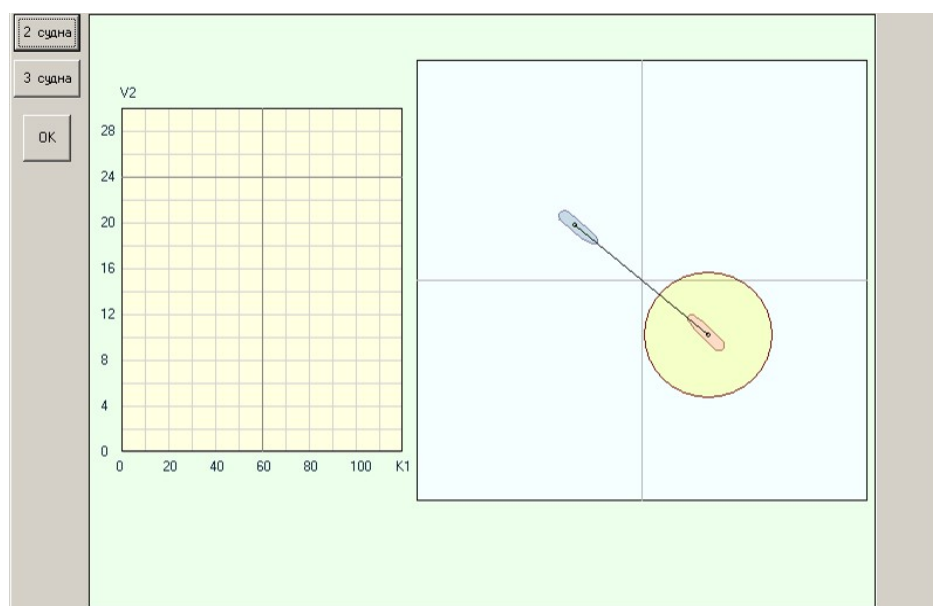


Рисунок 5.2 – Вибір ситуацій зближення двох суден

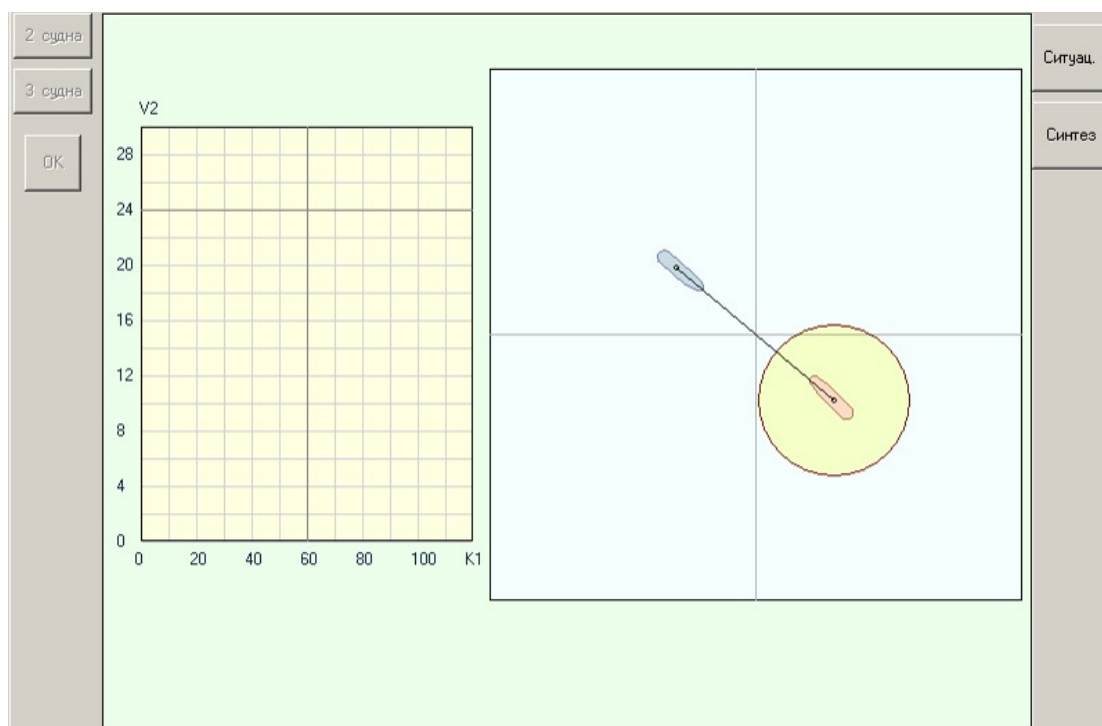


Рисунок 5.3 – Два типи вибору початкової ситуації зближення

Вказаними клавішами початкова ситуація небезпечного зближення суден може формуватися двома способами: за допомогою наперед сформованих стандартних ситуацій або задати початкову ситуацію небезпечного зближення суден можна інтерактивним введенням початкового пеленга і дистанції, а також параметрів руху суден. Формування ситуації інтерактивним введенням її параметрів виробляється при використанні клавіші «Синтез», причому активізуються клавіші «Актив. » і «Пасив. » для вибору режиму гальмування, що відображене на рисунку 5.4. Після вибору режиму активного або пасивного гальмування активізуються клавіші введення параметрів ситуації небезпечного зближення і лінійка прокрутки (рисунок 5.5). На рис 5.6 показаний вибір клавіші «D» і за допомогою лінійки прокрутки вводиться значення дистанції між суднами. У лівій частині екрану показується область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, а також виводяться поточні значення параметрів ситуації зближення.

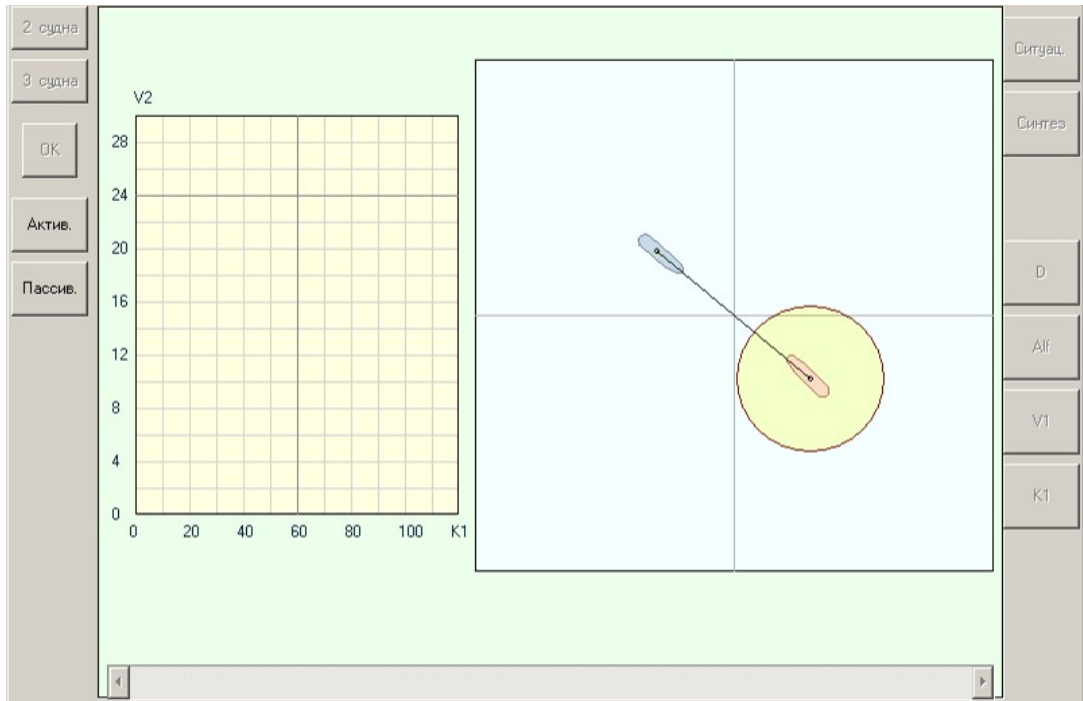


Рисунок 5.4 – Вибір інтерактивного формування ситуації зближення

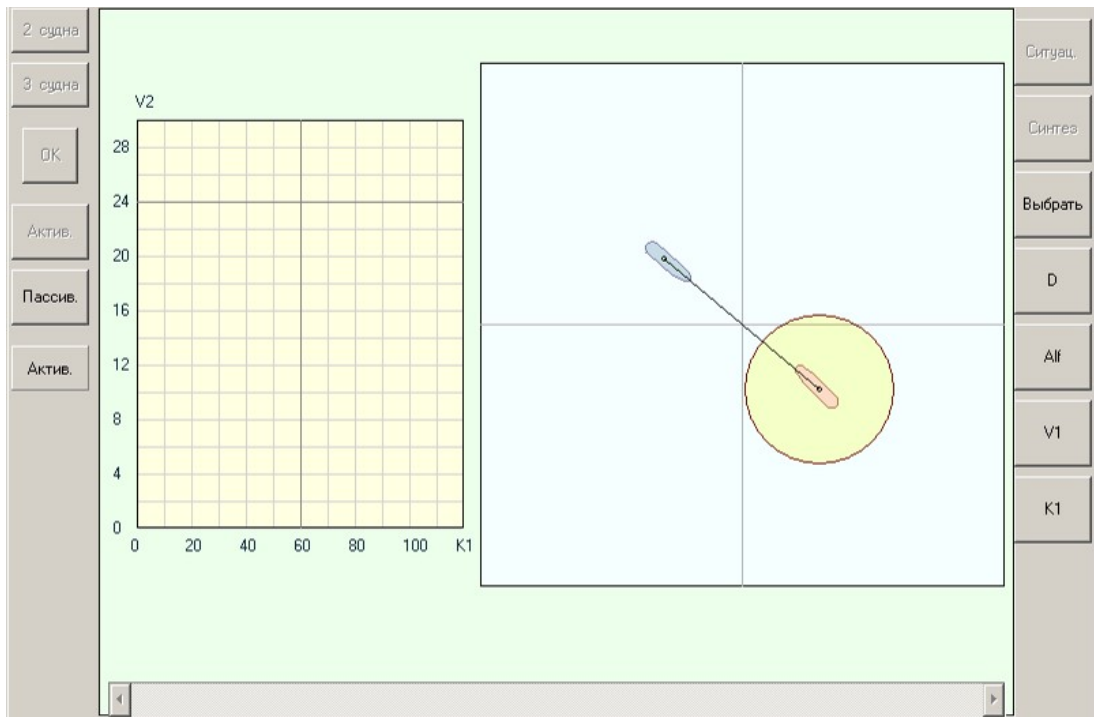


Рисунок 5.5 – Вибір активного гальмування

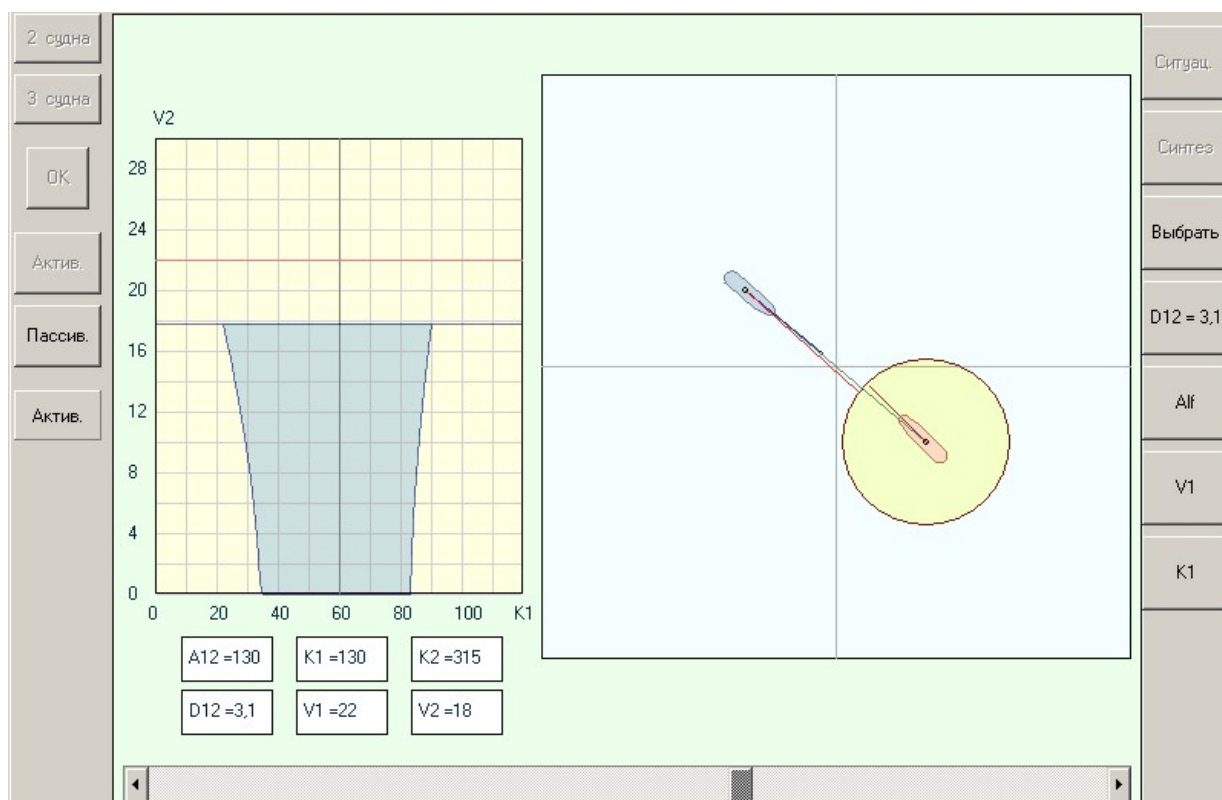


Рисунок 5.6 – Введення дистанції між суднами

Для введення значення пеленга слід використати клавішу «Alf» і лінійкою прокрутки встановити бажане значення пеленга, як показано на рис 5.7. Аналогічно вводяться значення курсів і швидкостей обох суден. Для введення значень курсу і швидкості першого судна використовуються клавіші «V1» і «K1» і лінійкою прокрутки встановлюються значення курсу, рівного 100 градусів, і швидкості 21 вузол, як показано на рис. 5.8. Введення курсу і швидкості другого судна показане на рис. 5.9. Для цього повторно використовуються клавіші вибору курсу і швидкості, найменування яких змінюються на «V2» і «K2». По черзі лінійкою прокрутки введені значення курсу 293 градуси, і швидкість 18 вузлів. При зміні параметрів ситуації небезпечного зближення область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна міняє свою форму і положення.

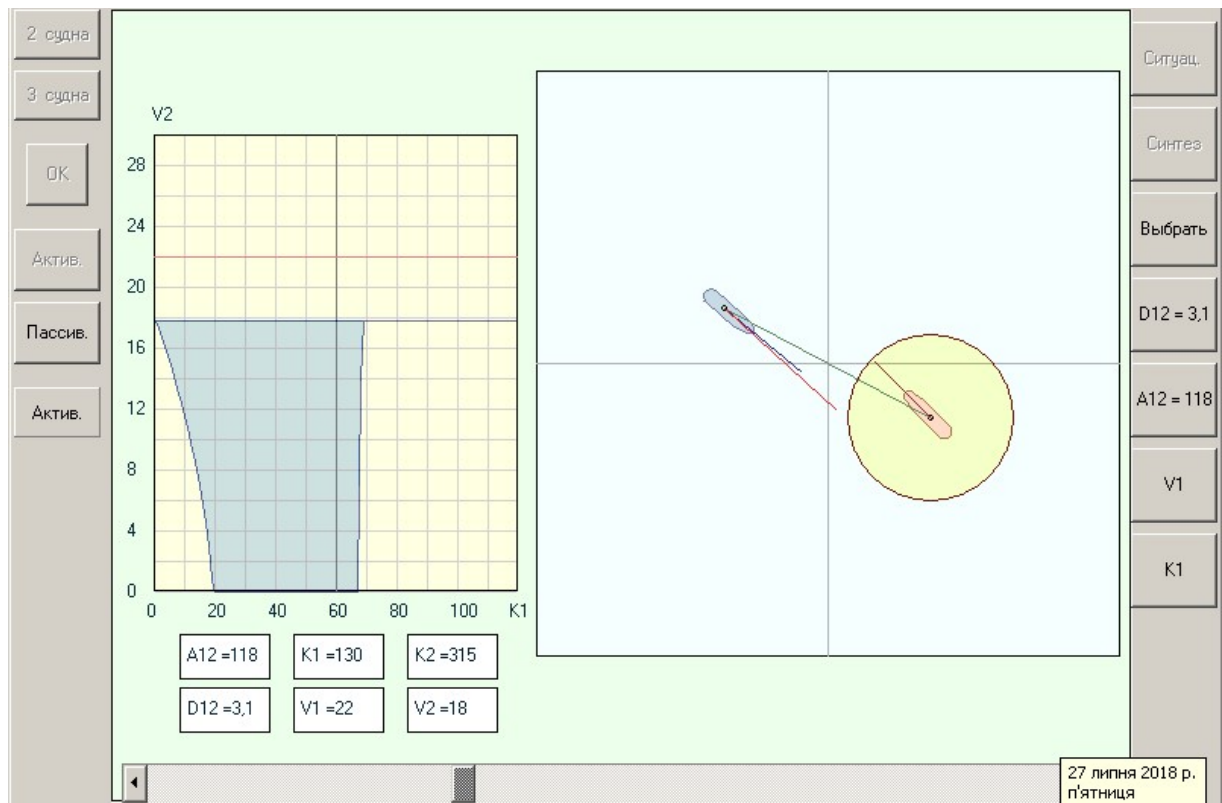


Рисунок 5.7 – Введення пеленгу

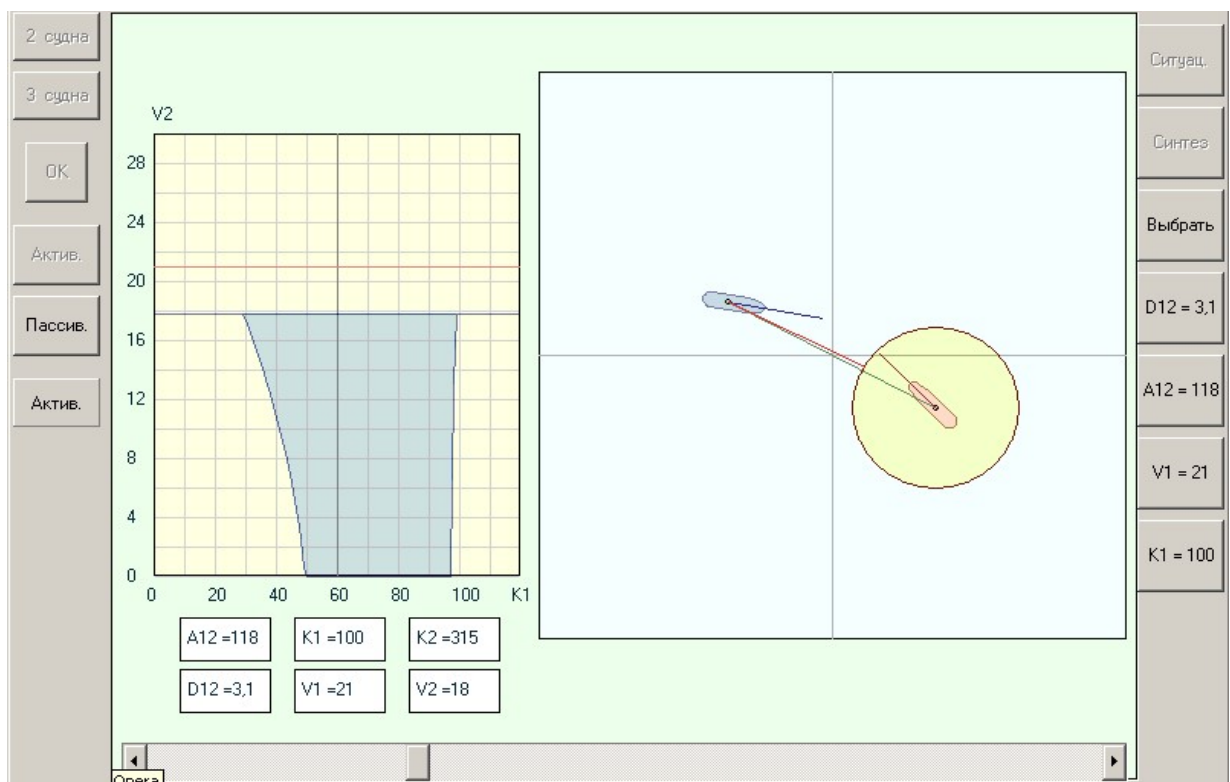


Рисунок 5.8 – Введення курсу та швидкості першого судна

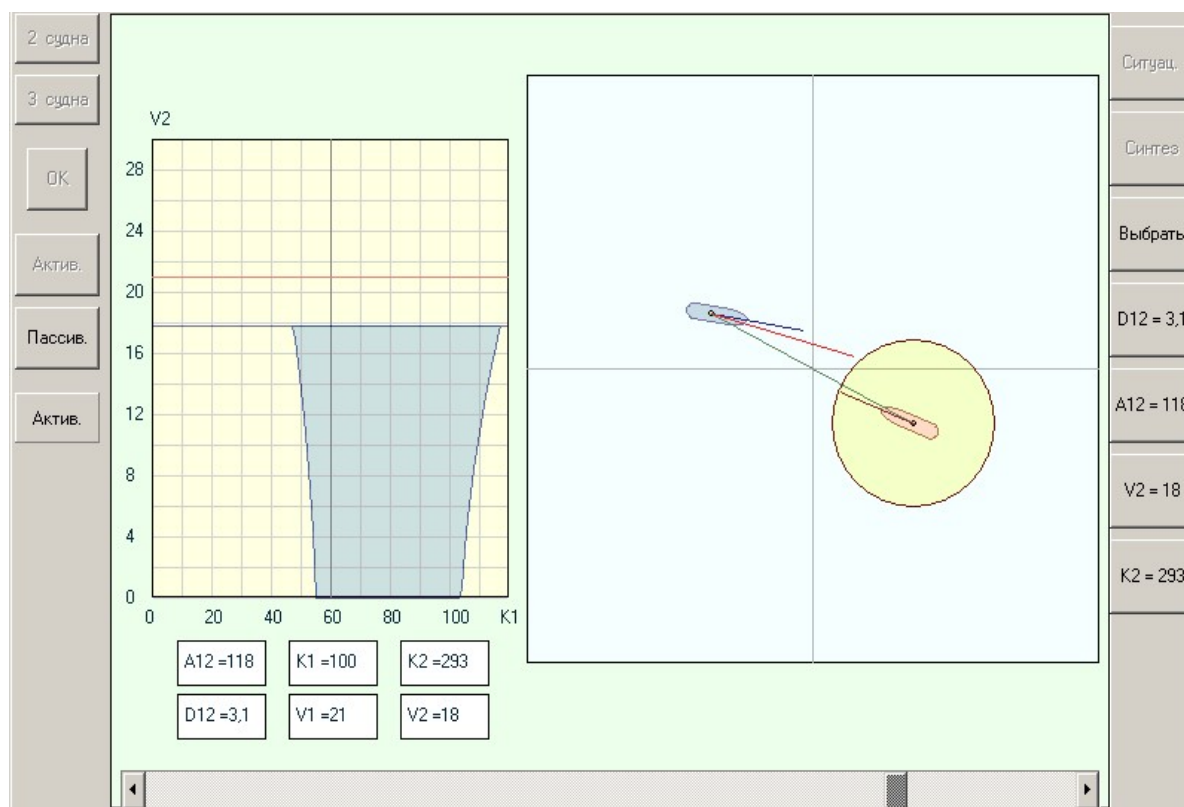


Рисунок 5.9 – Введення курсу і швидкості другого судна

Після введення параметрів ситуації небезпечного зближення слід скористатися клавішею «Вибрати», внаслідок чого параметри ситуації небезпечного зближення передаються в другий модуль програми для формування області неприпустимих значень параметрів руху суден. Після вибору режиму гальмування, в нашому прикладі пасивного (рисунок 5.10), активізується клавіша «Показати» для графічного відображення області неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна. З допомогою згаданої клавіші виводиться область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, коли воно знижує швидкість пасивним гальмуванням, що показано на рис. 5.11. Якщо вибрати зниження швидкості другим судном активним гальмуванням, то область неприпустимих значень параметрів руху суден приймає форму, яка показана на рис. 5.12. Звертаємо увагу, що область не симетрична щодо початкового курсу першого судна.

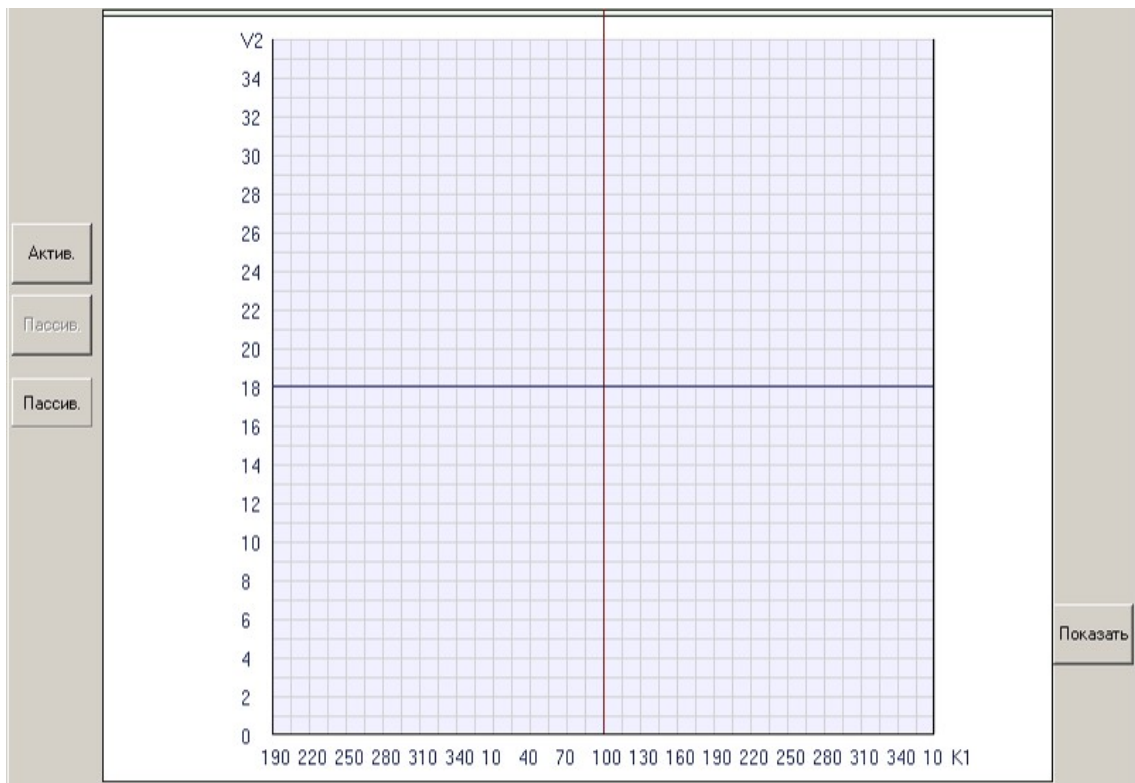


Рисунок 5.10 – Вибір режиму гальмування

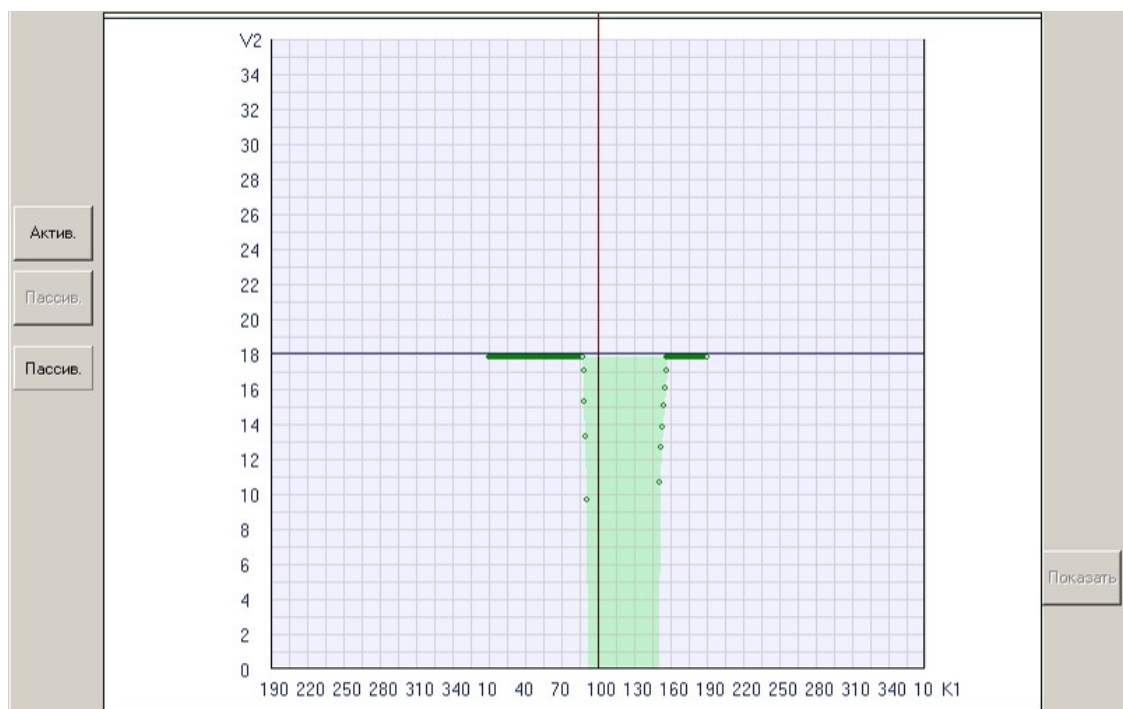


Рисунок 5.11 – Область неприпустимих параметрів при пасивному гальмуванні

Для вибору безпечного маневру розходження необхідно «кликнути»

курсором на межі області неприпустимих параметрів, при цьому вибрана крапка відображається чотирма концентричними колами, як показано на рис. 5.13. Значення курсу ухилення першого судна, рівного 150 градусам, і швидкості другого судна 9,7 вузли, досягнутої активним гальмуванням, також виводяться на екран монітора.

Вибір ситуацій зближення з урахуванням судна, що заважає, дійснюється за допомогою клавіші «3 судна», як показано на рис. 5.14. При цьому на екран монітору виводиться графічне зображення ситуації небезпечного зближення двох суден і третього судна, що заважає. Введення параметрів ситуації небезпечного зближення проводиться, як розглядалося раніше, а вибір початкових значень пеленга і дистанції судна, що заважає, показаний на рис. 5.15 за допомогою повторного використання відповідних клавіш.

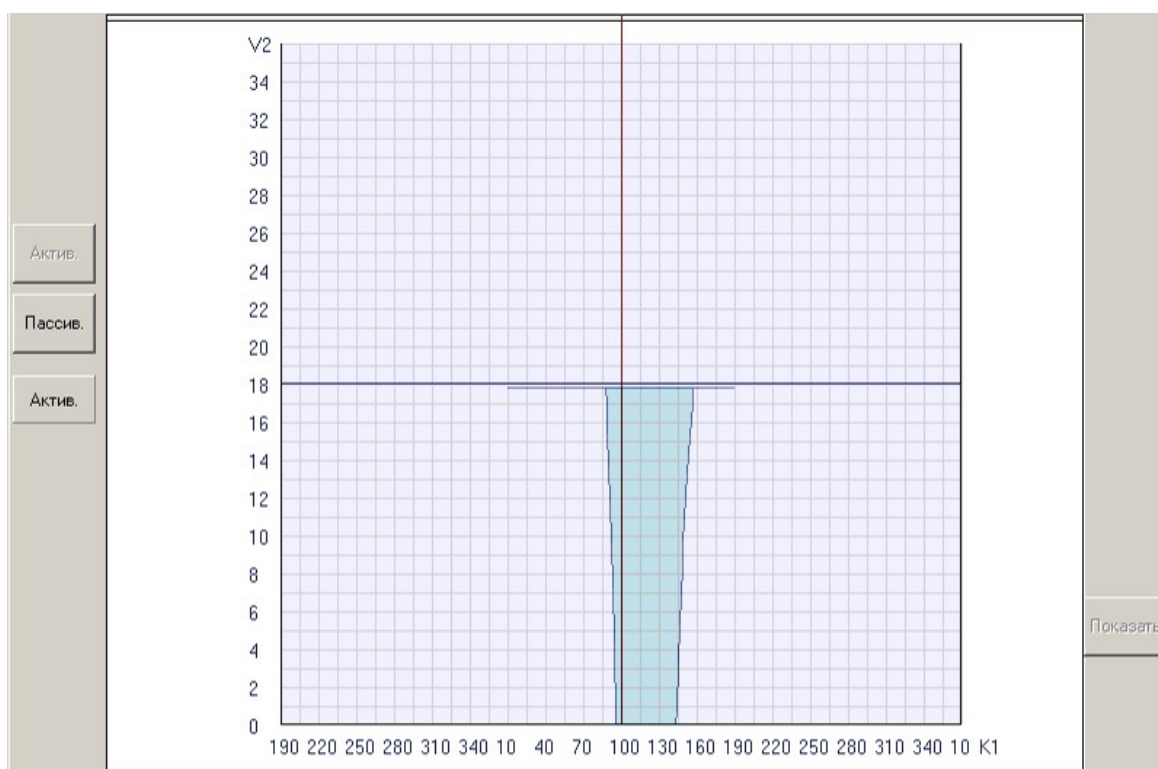


Рисунок 5.12 – Область неприпустимих параметрів при активному гальмуванні

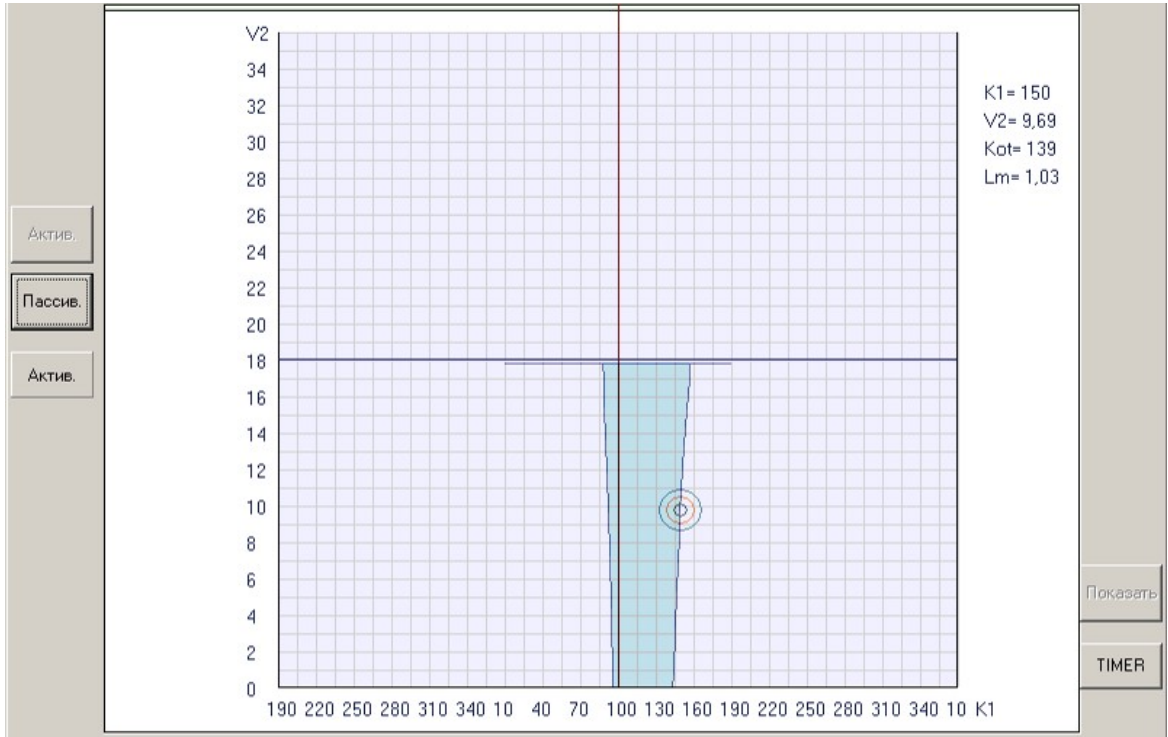


Рисунок 5.13 – Вибір безпечного маневру розходження

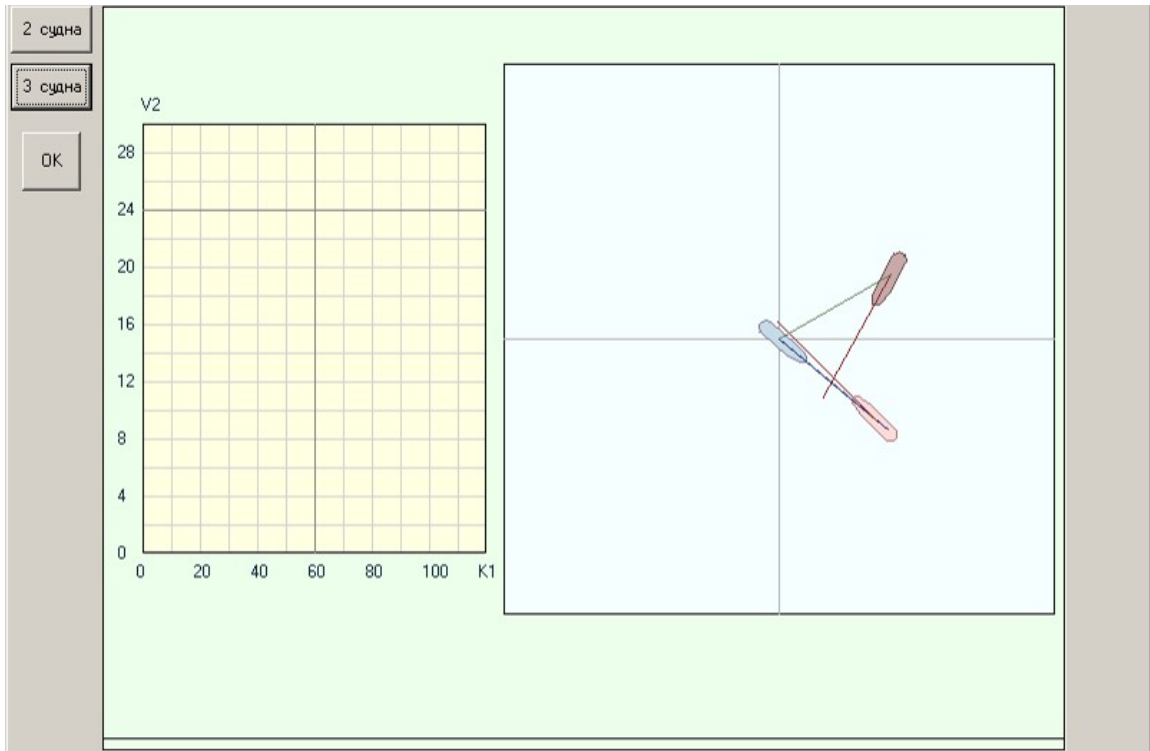


Рисунок 5.14 – Вибір ситуації зближення трьох суден

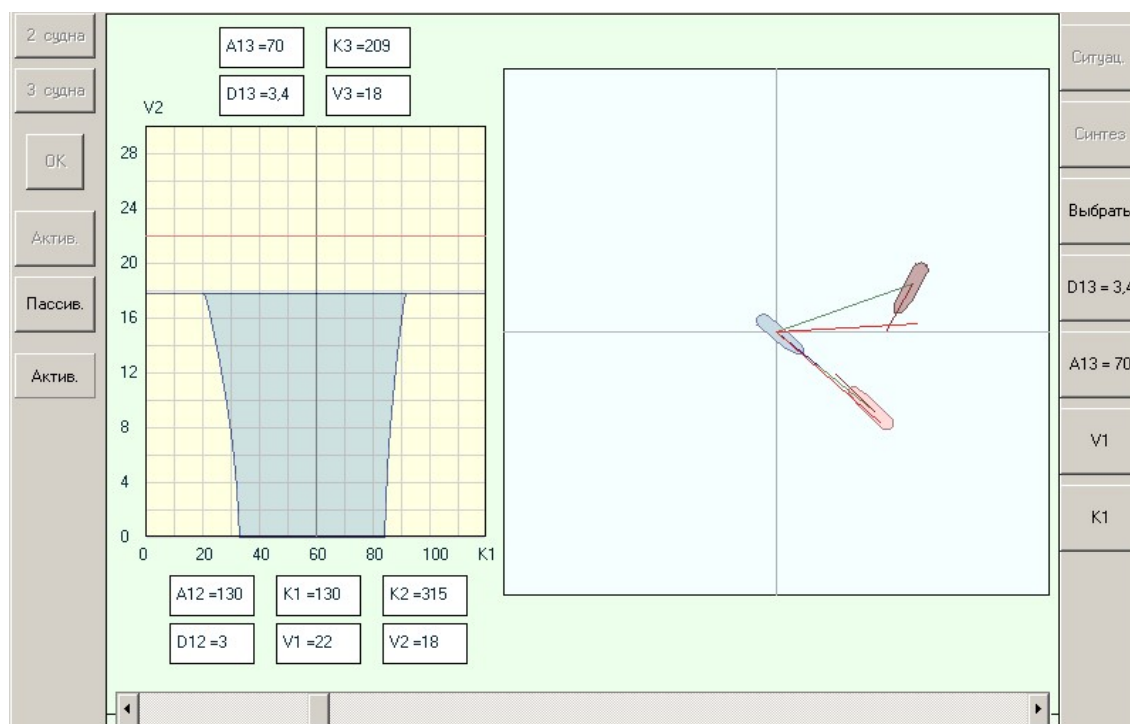


Рисунок 5.15 – Вибір пеленга і дистанції третього судна

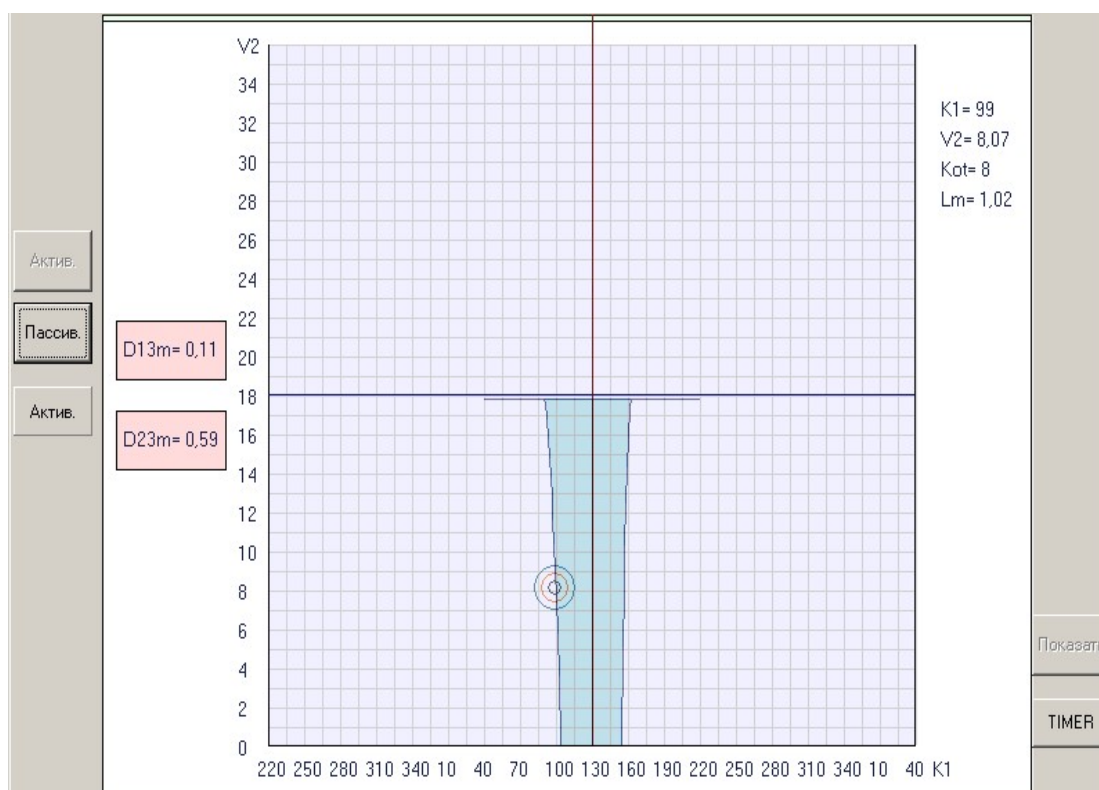


Рисунок 5.16 – Розходження з третім судном небезпечне для обох суден

Використовуючи режим активного або пасивного гальмування,

проводиться відображення області неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, яка використовується для вибору безпечного маневру розходження. Проте при виборі маневру безпечної розходження програма аналізує дистанції найкоротшого зближення першого і другого суден з судном, що заважає, в результаті виконання маневру, за умови, що судно, що заважає, продовжує рух з постійними курсом і швидкістю. При цьому значення дистанцій найкоротшого зближення виводяться на екран.

На рис. 5.16 показаний вибір маневру розходження з курсом ухилення першого судна 99 градусів і швидкістю розходження 8,1 вузли другого судна з дистанцією найкоротшого зближення 1,02 милі. Проте такий маневр веде обидва судна до небезпечного зближення з судном, що заважає, на дистанцію 0,11 милі з першим судном і на 0,59 милі – з другим судном.

При виборі маневру розходження з курсом ухилення першого судна 159 градусів і швидкістю розходження 13,5 вузли другого судна, який безпечний для першого і другого суден, як впливає з рис. 5.17, забезпечується безпека розходження з третім судном, що заважає, – обидві дистанції найкоротшого зближення більше гранично - допустимої дистанції.

Для вибору стандартних ситуацій зближення необхідно застосувати клавішу «Ситуац.» замість клавіші «Синтез» (рис. 5.18). При повторному натисненні клавіші «Ситуац.» збільшується номер стандартної ситуації. Так, на рис. 5.19 показана друга стандартна ситуація зближення, а на рис. 5.20 – третя стандартна ситуація зближення. Для даної ситуації на рис. 5.21 показана область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, коли зниження швидкості досягається активним гальмуванням.

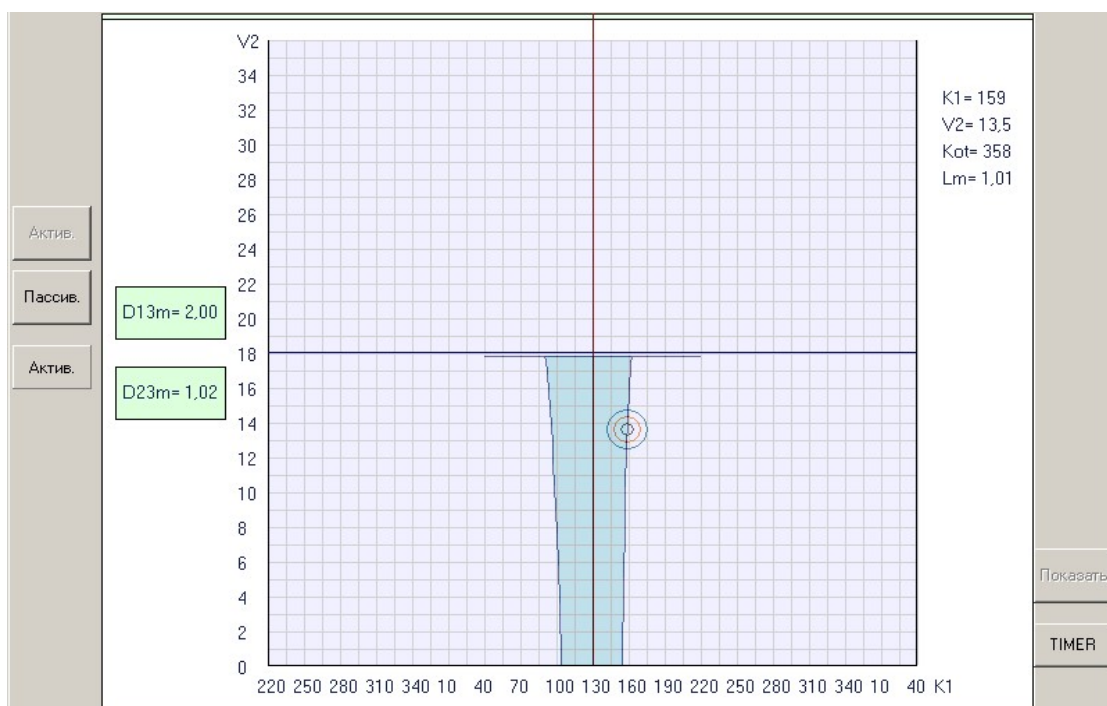


Рисунок 5.17 – Безпечне розходження суден з урахуванням третього судна

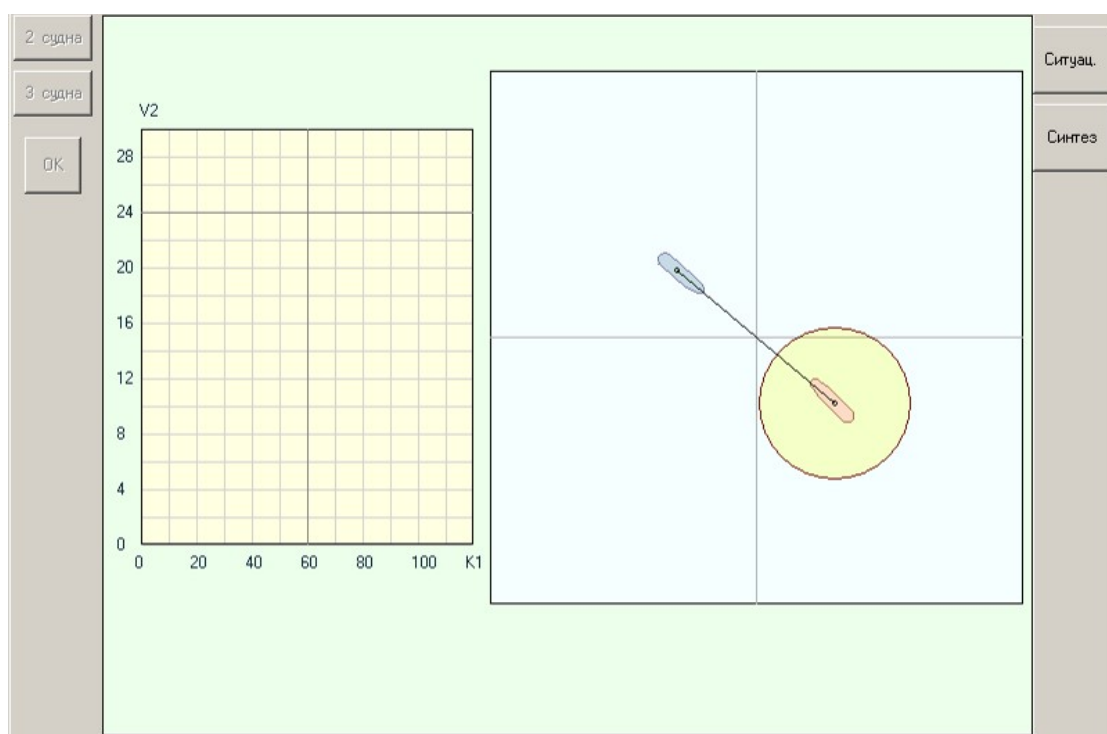


Рисунок 5.18 – Вибір стандартних ситуацій зближення двох суден

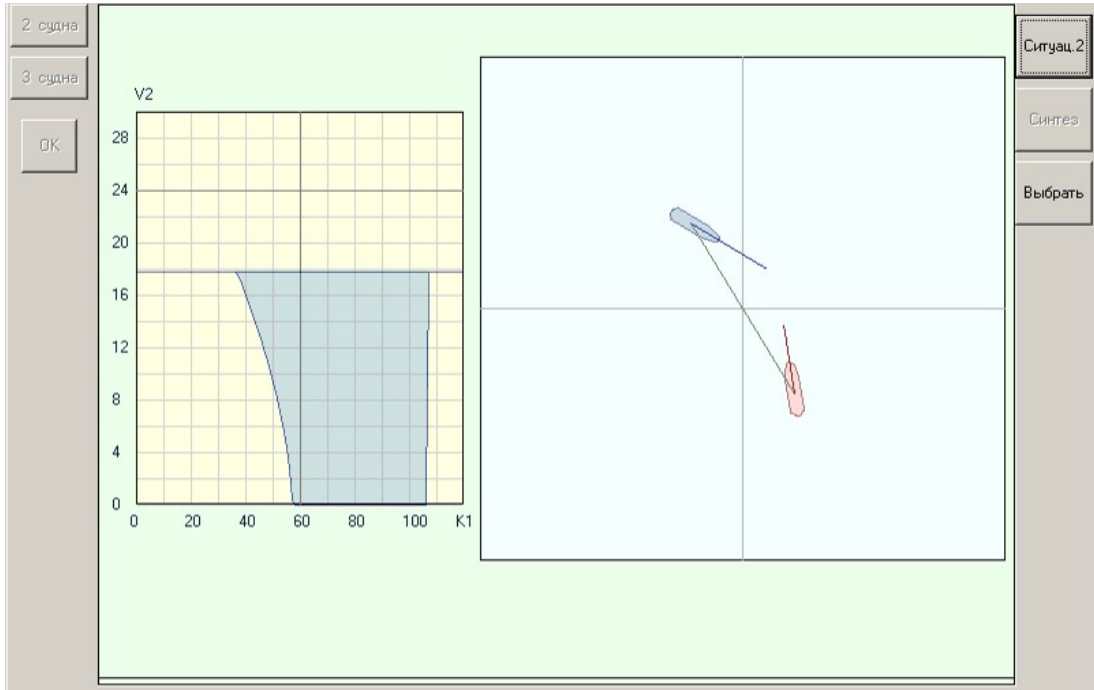


Рисунок 5.19 – Друга стандартна ситуація зближення

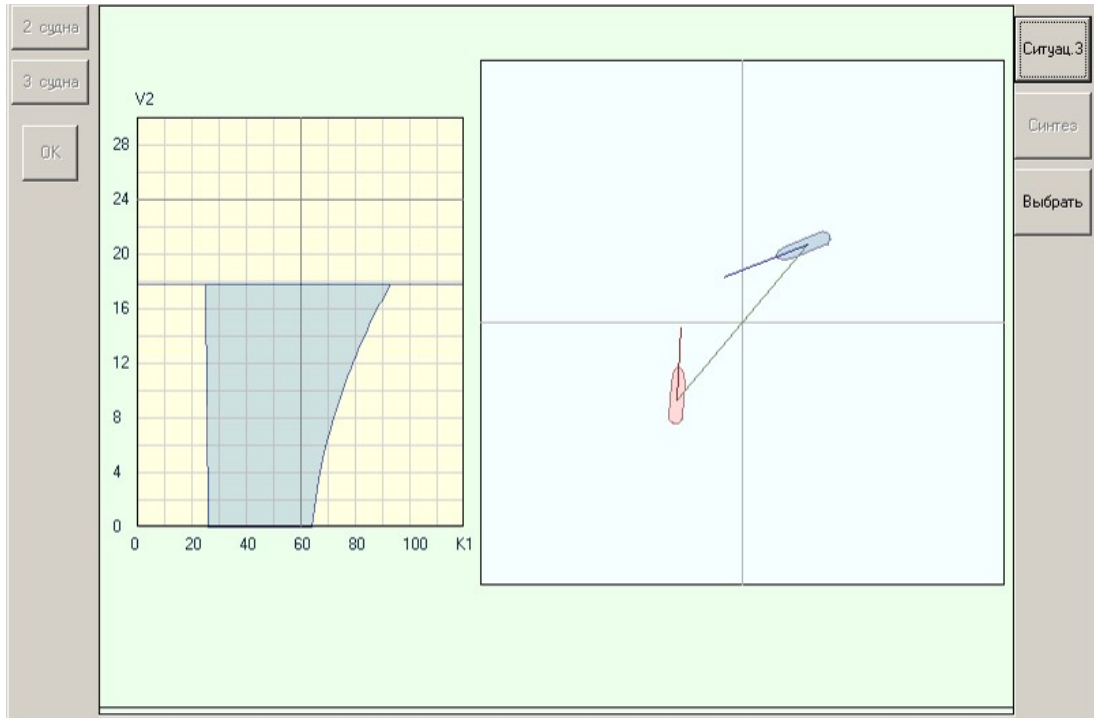


Рисунок 5.20 – Третя стандартна ситуація зближення

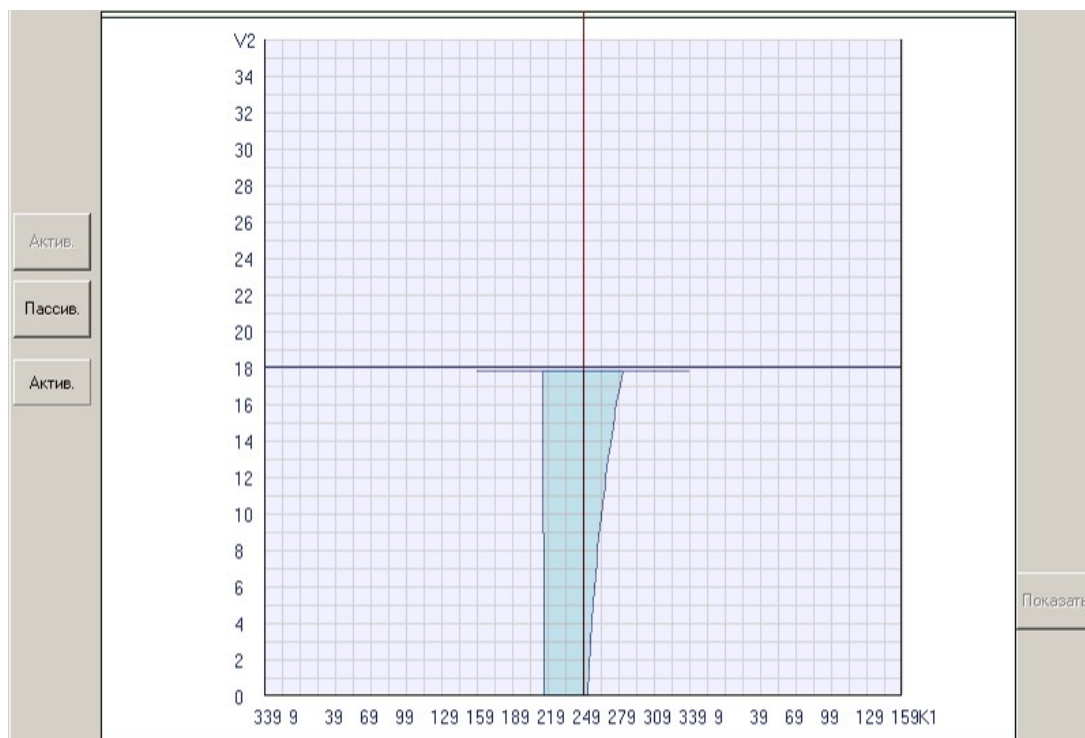


Рисунок 5.21 – Область неприпустимих параметрів третьої стандартної ситуації

Для вибору стандартних ситуацій зближення трьох суден необхідно після вибору клавіші «3 судна» скористатися клавішею «Ситуац.» (рис. 5.22).

Використовуючи повторно клавішу «Ситуац.» вибираємо необхідну стандартну ситуацію зближення. На рис. 5.23 показана друга стандартна ситуація зближення трьох суден, а третя стандартна ситуація зближення трьох суден приведена на рис. 5.24. Разом з графічним відображенням стандартної ситуації зближення виводиться відповідна область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна. На рис. 5.25 показана область неприпустимих значень параметрів руху суден, а на рис. 5.26 приведений вибір безпечного маневру розходження.

При курсі ухилення першого судна 37 градусів і швидкості розходження 4,8 вузли другого судна, як впливає з рис. 5.26, дистанції найкоротшого зближення між суднами не менше гранично - допустимої дистанції зближення.

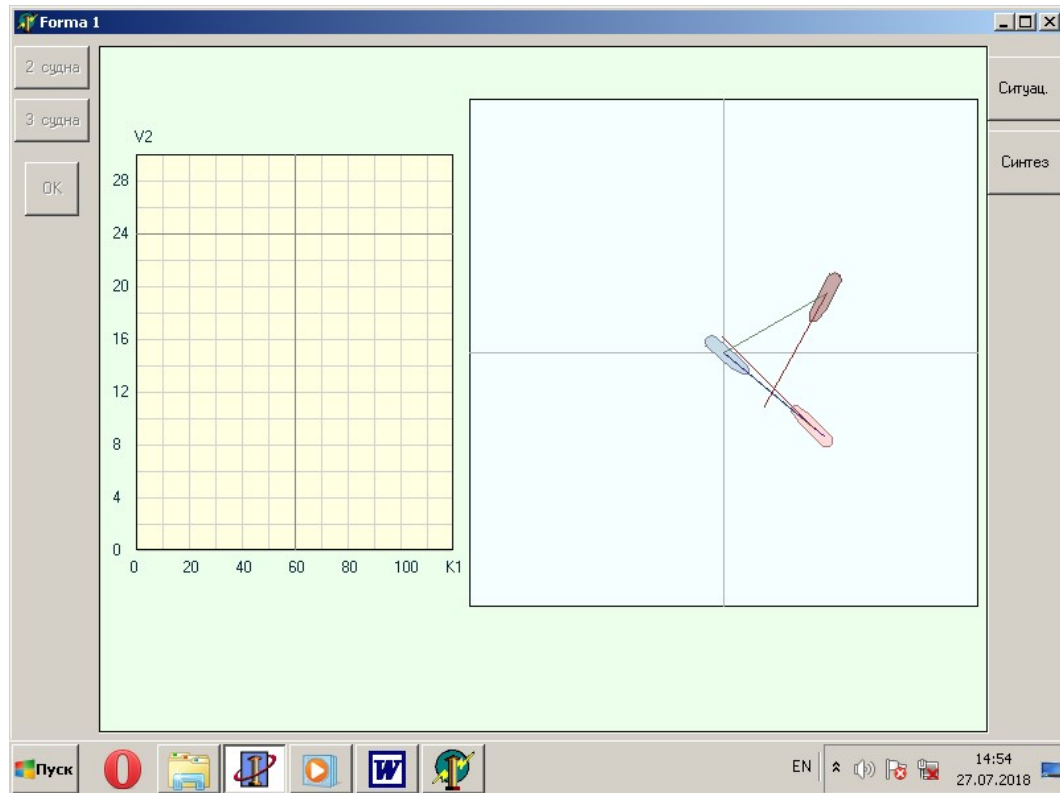


Рисунок 5.22 – Вибір стандартних ситуацій зближення трьох суден

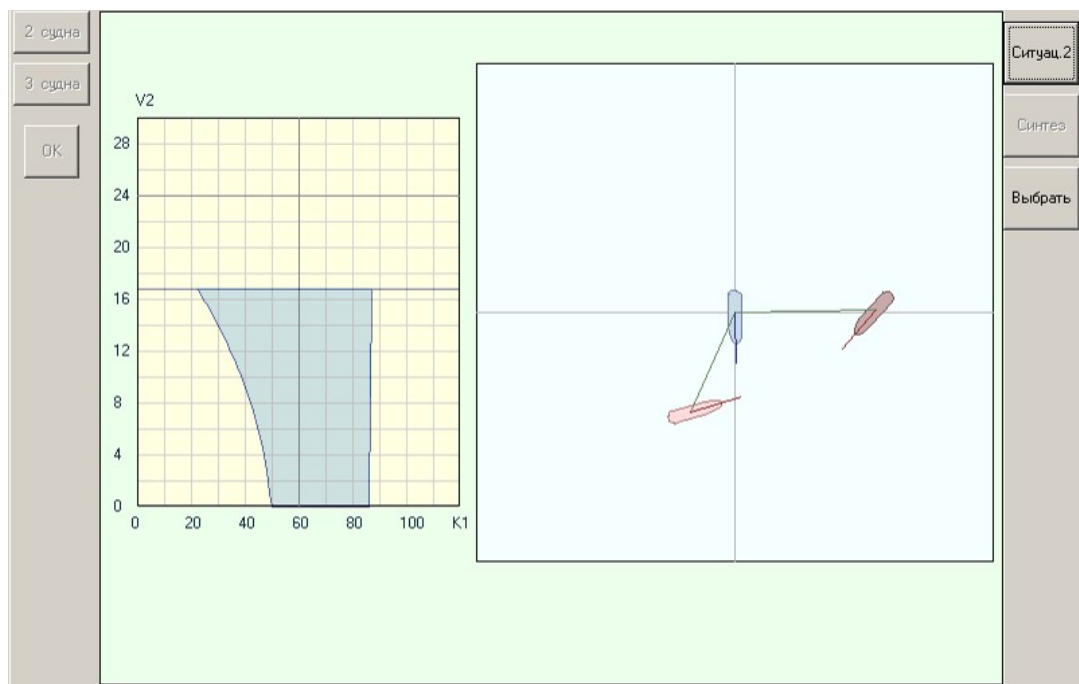


Рисунок 5.23 – Друга стандартна ситуація зближення трьох суден

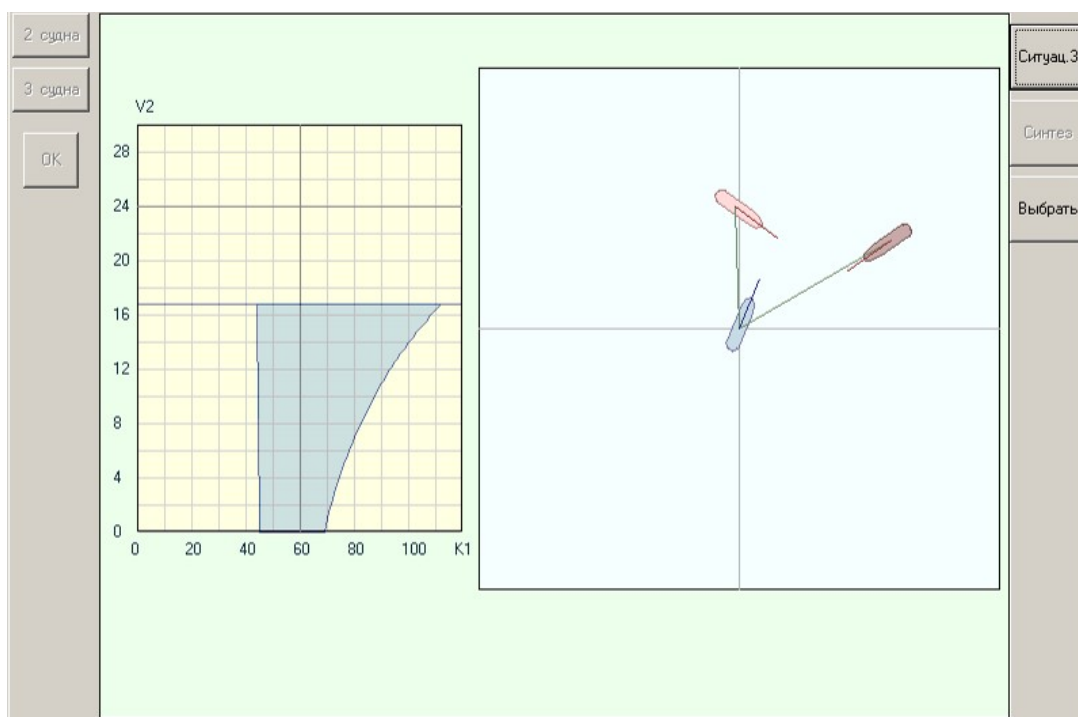


Рисунок 5.24 – Третя стандартна ситуація зближення трьох суден



Рисунок 5.25 – Область неприпустимих параметрів третьої стандартної ситуації

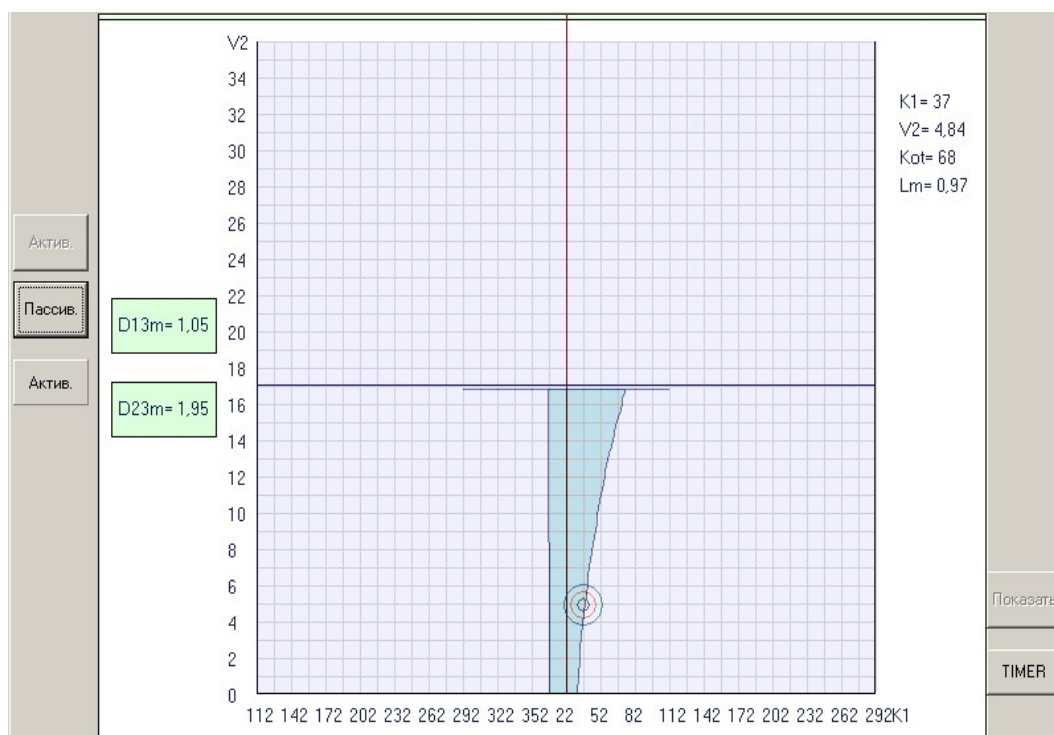


Рисунок 5.26 – Вибір безпечного маневру розходження трьох суден

5.2. Імітаційне моделювання процесу розходження суден

Як раніше указувалося, імітаційна програма містить модуль, за допомогою якого проводиться імітаційне моделювання вибраного маневру розходження і робиться висновок про коректність розробленого способу розрахунку параметрів маневру розходження, причому для обертального руху першого судна вибрана модель з постійною кутовою швидкістю.

Для прикладу розглянемо третю стандартну ситуацію небезпечного зближення (рис. 5.27) з параметрами: курсом $K_c = 5^\circ$ і швидкістю $V_c = 23$ вузла судна, курсом $K_1 = 221^\circ$ і швидкістю $V_1 = 21$ вузол першої цілі, курсом $K_2 = 143^\circ$ і швидкістю $V_2 = 20$ вузлів другої цілі, дистанція $D_1 = 3$ милі і пеленг $\alpha_1 = 35^\circ$.

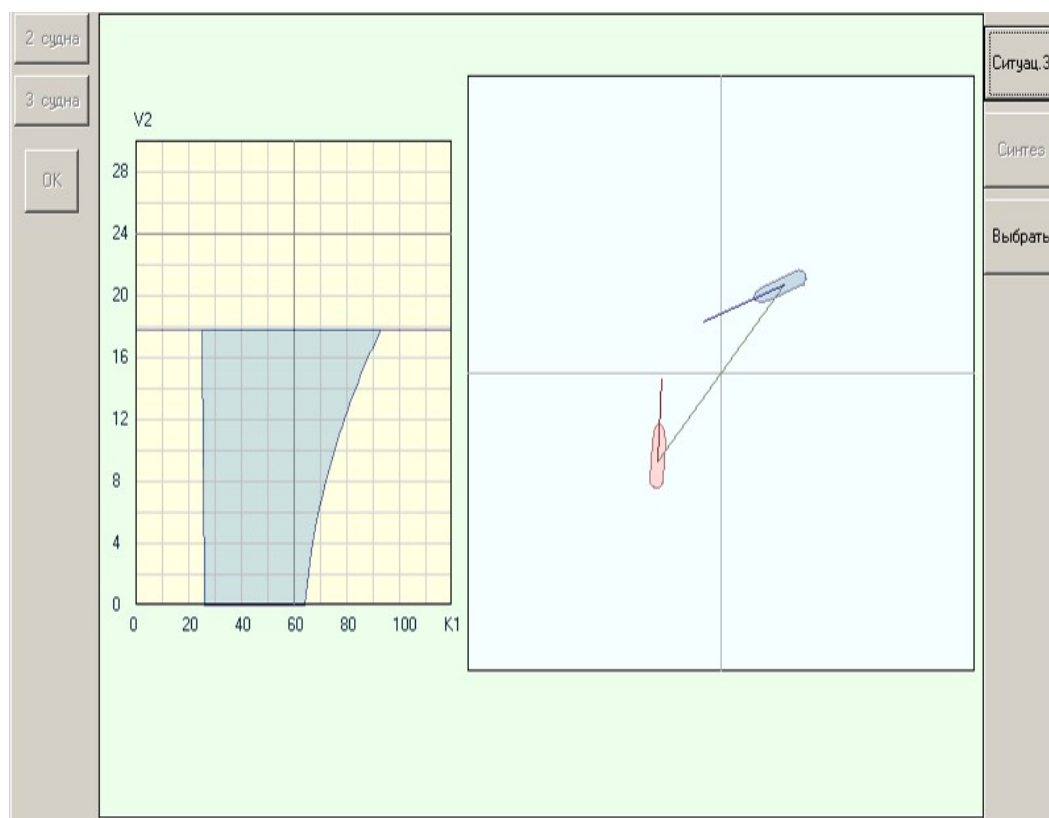


Рисунок 5.27 – Третя ситуація зближення двох суден

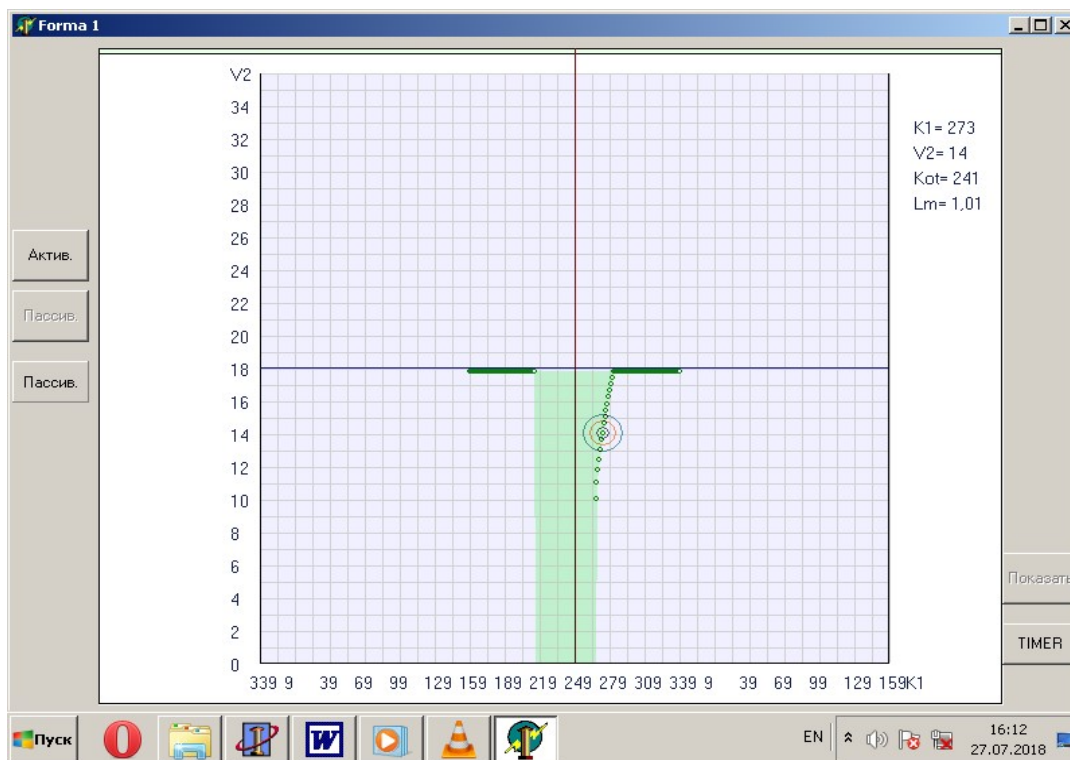


Рисунок 5.28 – Вибір безпечного маневру розходження

Даній ситуації відповідає область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, яке знижує швидкість пасивним гальмуванням, що приведена на рис. 5.28. За допомогою області вибраний безпечний маневр розходження: курс ухилення першого судна 273° і швидкість розходження другого судна 14 вузлів.

Для програвання вибраного маневру розходження слід скористатися клавішею «TIMER», після чого на інформаційні панелі виводяться дані про параметри ситуації зближення, параметри маневру розходження і поточні значення параметрів процесу розходження, як показано на рис. 5.29. При цьому графічно відображається поточна ситуація. Початок маневру розходження представлений на рис. 5.29.

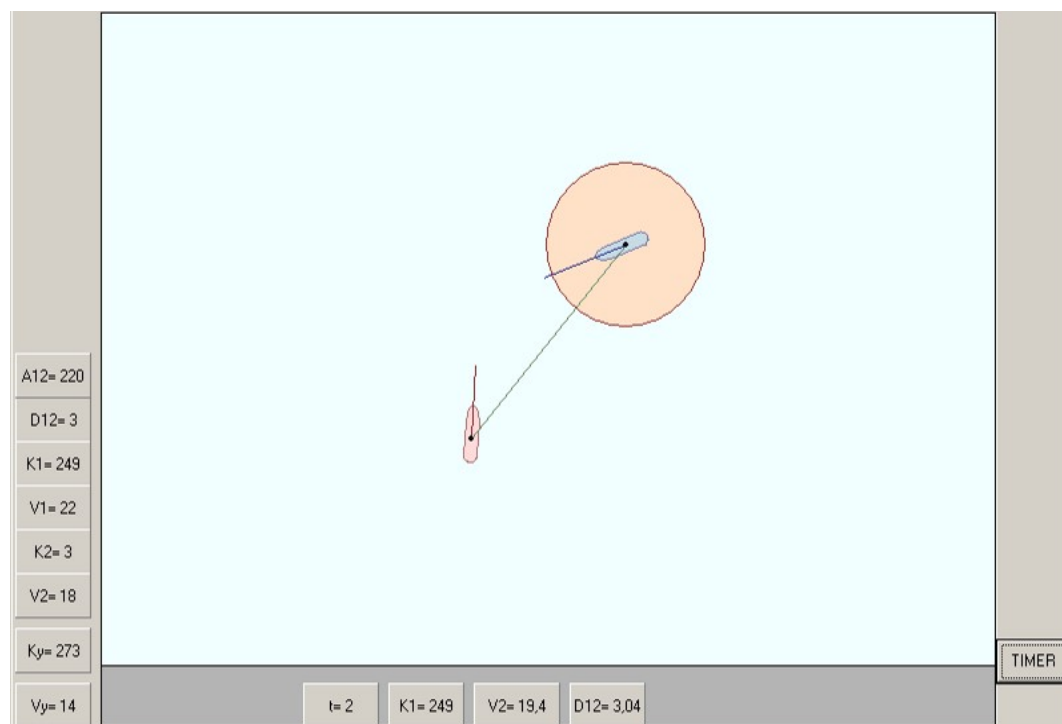


Рисунок 5.29 – Початок маневру розходження

Перше судно починає поворот на курс ухилення 273° , а друге судно знижує швидкість пасивним гальмуванням. Завершення повороту першого судна відбувається на 15 с процесу розходження, що показане на рис. 5.30.

Перше судно продовжує слідувати незмінним курсом ухилення 273° .

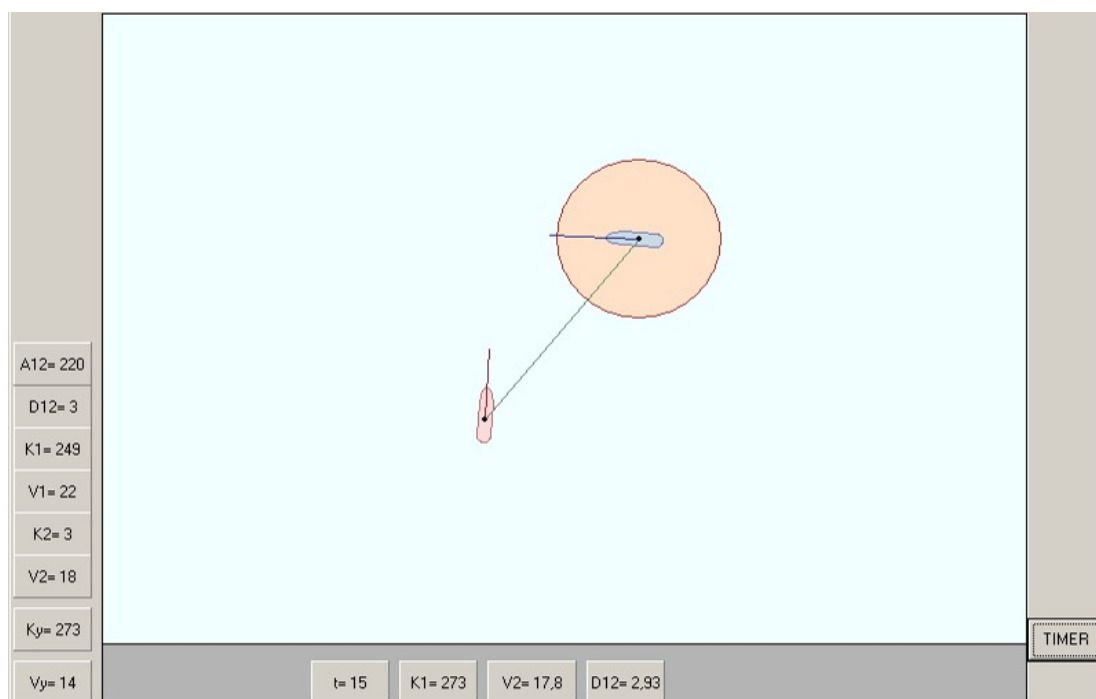


Рисунок 5.30 – Завершення повороту першого судна

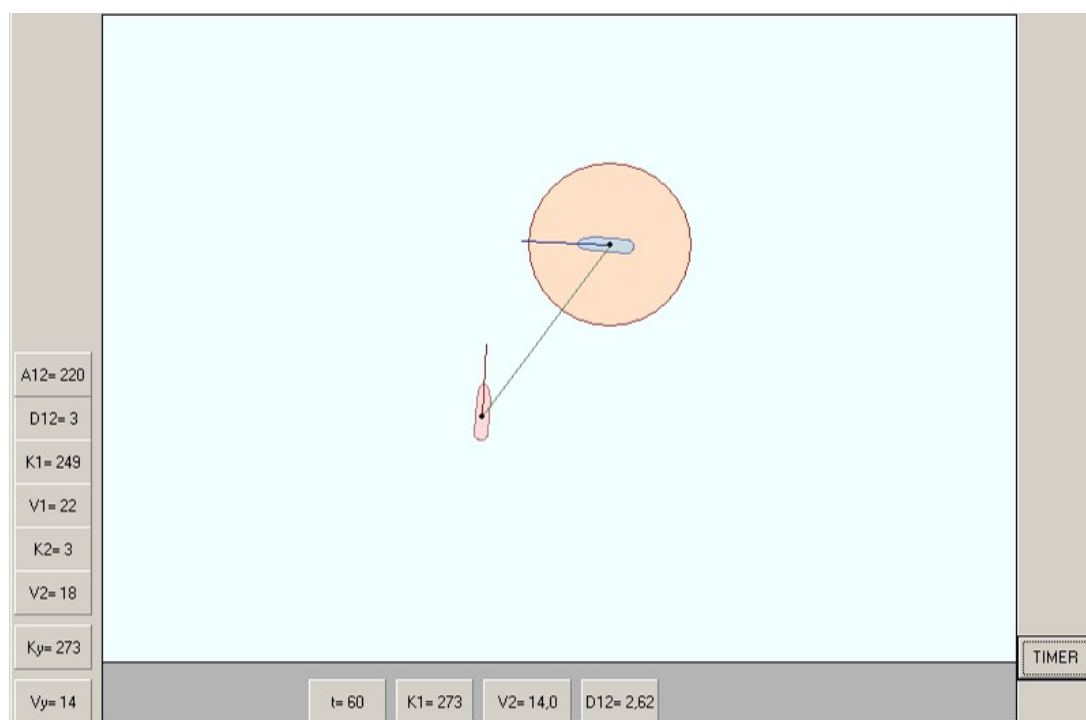


Рисунок 5.31 – Завершення процесу гальмування другим судном

На рис. 5.31 показаний момент часів 60 с, коли друге судно закінчує

пасивне гальмування до швидкості 14 вузлів і переміщається з цією швидкістю до моменту часу найкоротшого зближення. Судна зближуються з вказаними параметрами до моменту часу найкоротшого зближення, рис. 5.32.

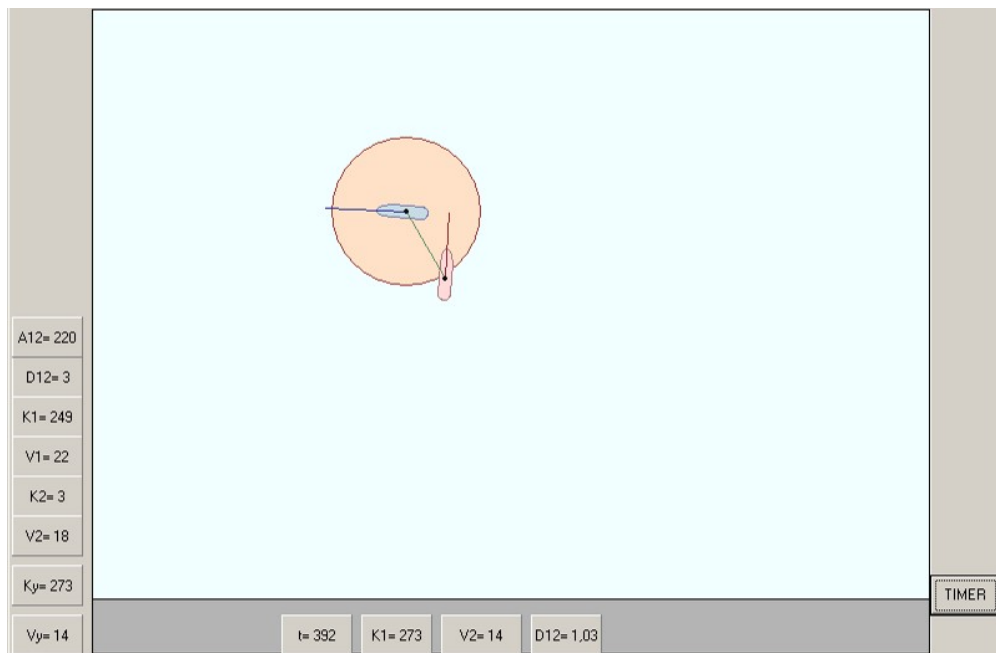


Рисунок 5.32 – Найкоротше зближення суден

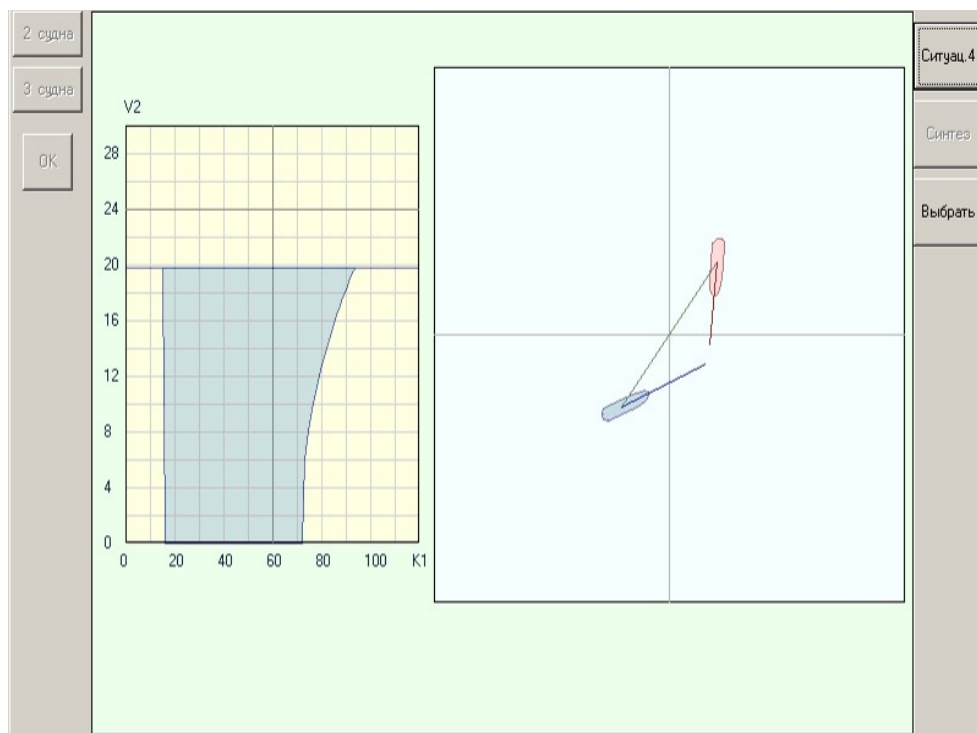


Рисунок 5.33 – Четверта ситуація небезпечного зближення двох суден

Судна розійшлися на дистанції 1,03 милі, як передбачалося маневром, що

підтверджує коректність вибору його параметрів.

Розглянемо наступну четверту стандартну ситуацію небезпечного зближення двох суден, приведену на рис. 5.33.

Аналогічно попереднім випадкам для даної ситуації небезпечного зближення двох суден одержана область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, що виконує активне гальмування, яка показана на рис. 5.34. З її допомогою вибраний безпечний маневр розходження з параметрами: курсом ухилення першого судна 21° і швидкістю розходження другого судна, яка рівна 18,6 вузли. При цьому прогнозована дистанція найкоротшого зближення складає 0,99 милі.

На початку процесу розходження (рис. 5.35) перше судно починає поворот на курс ухилення 21° , одночасно друге судно починає знижувати свою швидкість активним гальмуванням. На 23 с процесу розходження перше судно завершує поворот, як показано на рис. 5.36, і до кінця процесу розходження слідує незмінним курсом ухилення 21° .

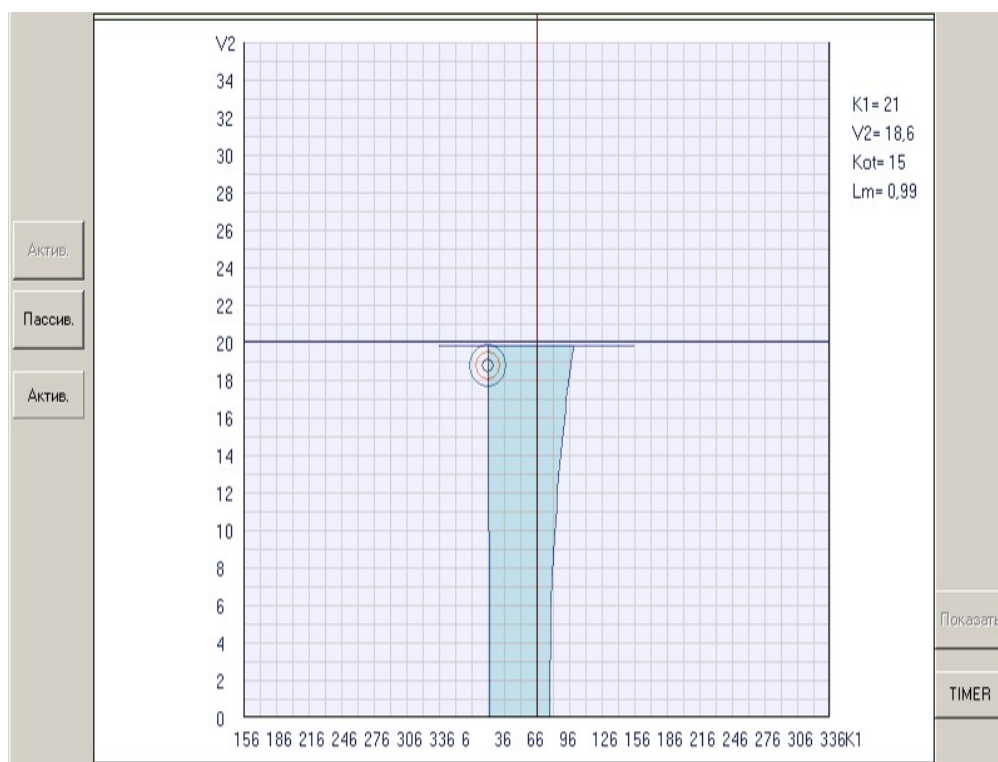


Рисунок 5.34 – Вибір безпечного маневру розходження

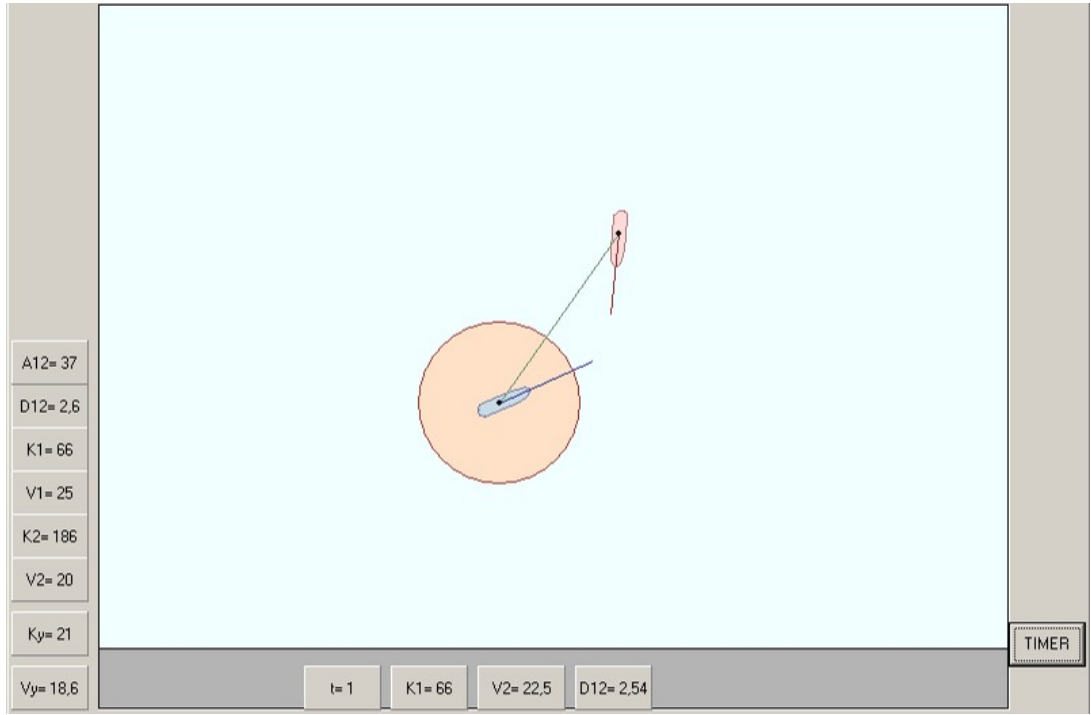


Рисунок 5.35 – Початок маневру розходження

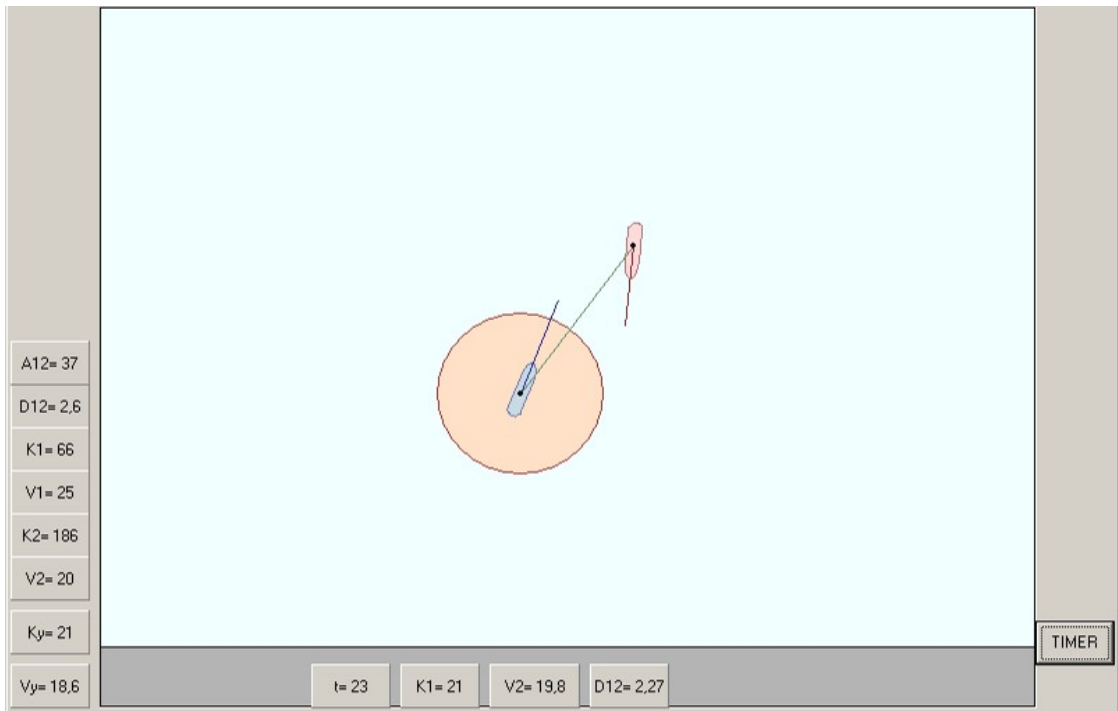


Рисунок 5.36 – Закінчення повороту

У момент часу 35 с, як показано на рис. 5.37, друге судно закінчує активне гальмування до швидкості 18,6 вузлів і переміщається з цією швидкістю до завершення маневру розходження, тобто до моменту часу найкоротшого зближення. Судна продовжують зближуватися з вказаними параметрами руху до моменту часу найкоротшого зближення, яке показане на рис. 5.38. У момент часу найкоротшого зближення суден дистанція між ними не менш гранично - допустимої дистанції зближення.

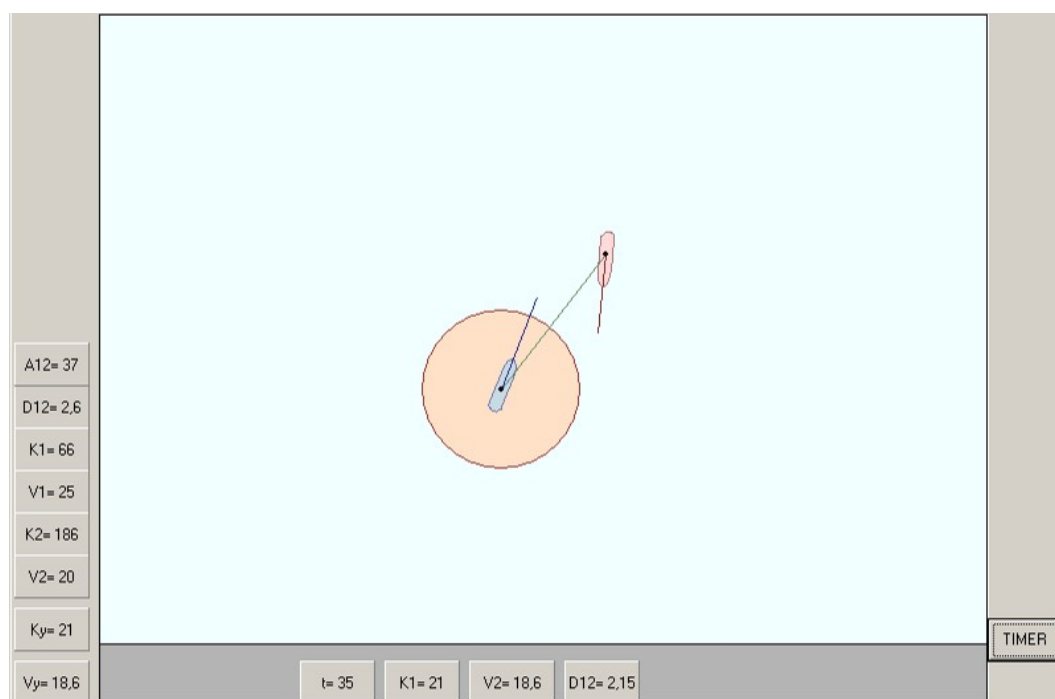


Рисунок 5.37 – Завершення активного гальмування другим судном

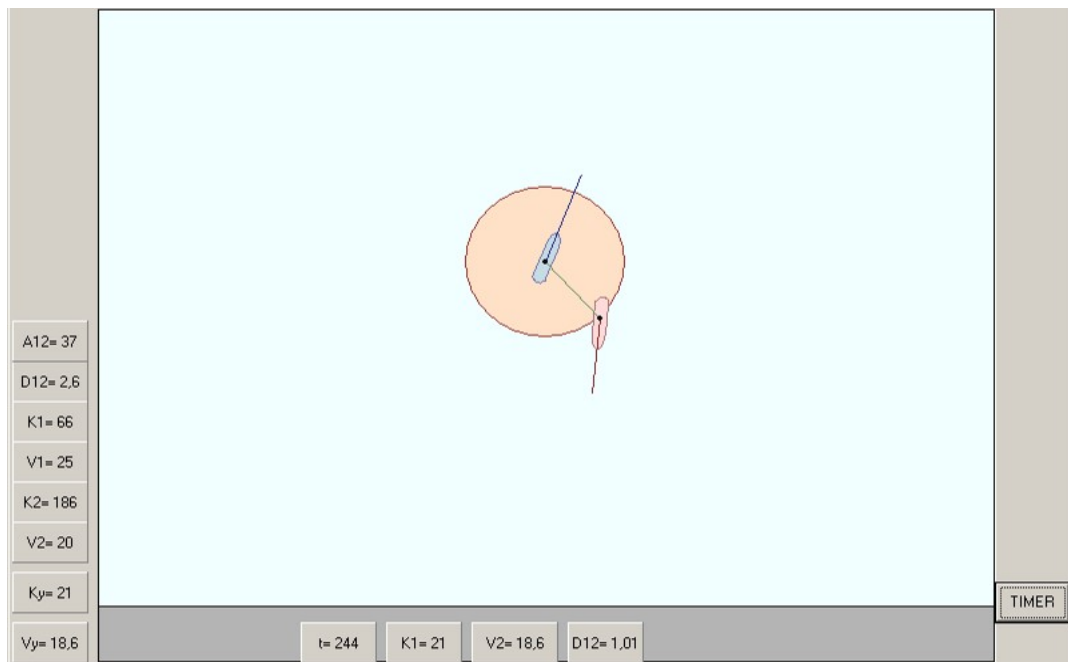


Рисунок 5.38 – Найкоротше зближення суден

Надалі проводилося імітаційне моделювання процесу розходження в ситуаціях наявності третього судна, що заважає. Як приклад була вибрана третя стандартна ситуація зближення трьох суден, графічне відображення якої показане на рис. 5.39. Область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, що виконує активне гальмування, приведена на рис. 5.40. За допомогою області вибрано маневр розходження безпечний для всіх трьох суден, що видно з того ж рис. 5.40. Початковий момент процесу розходження відображений на рис. 5.41. Перше судно починає поворот для ухилення на курс 38° , друге ж судно починає активне гальмування для зниження швидкості. До моменту часів 12 с перше судно завершує поворот і далі не міняє свій курс до завершення маневру розходження, що відображене на рис. 5.42. Друге судно продовжує активне гальмування до моменту часу 209 с, як показано на рис. 5.43, після чого утримує незмінну швидкість 4,8 вузли.

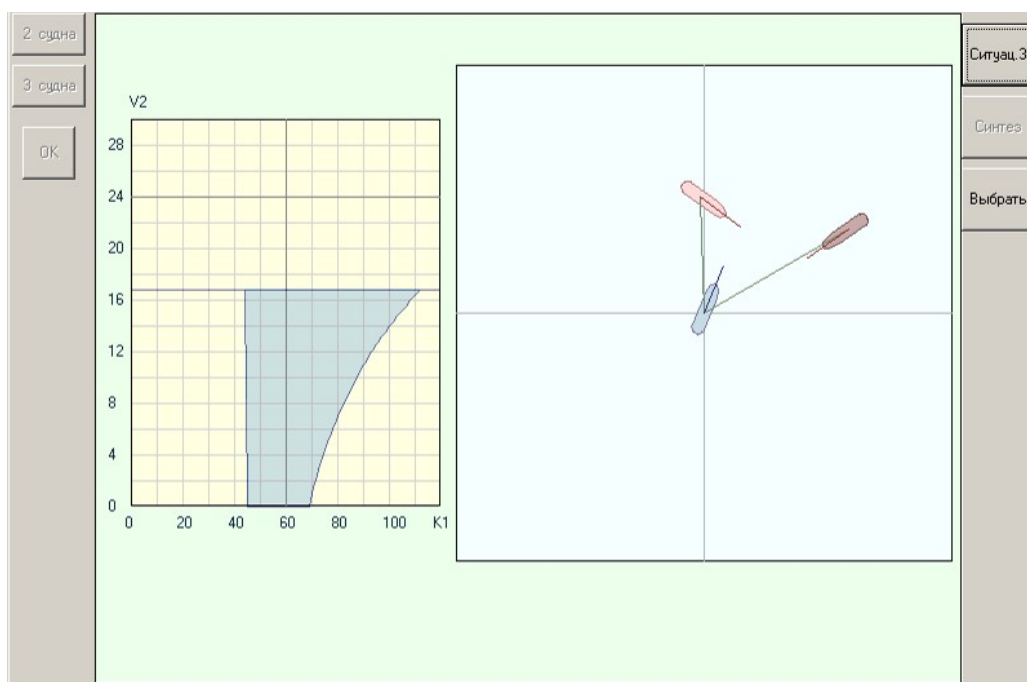


Рисунок 5.39 – Третя ситуація зближення трьох суден

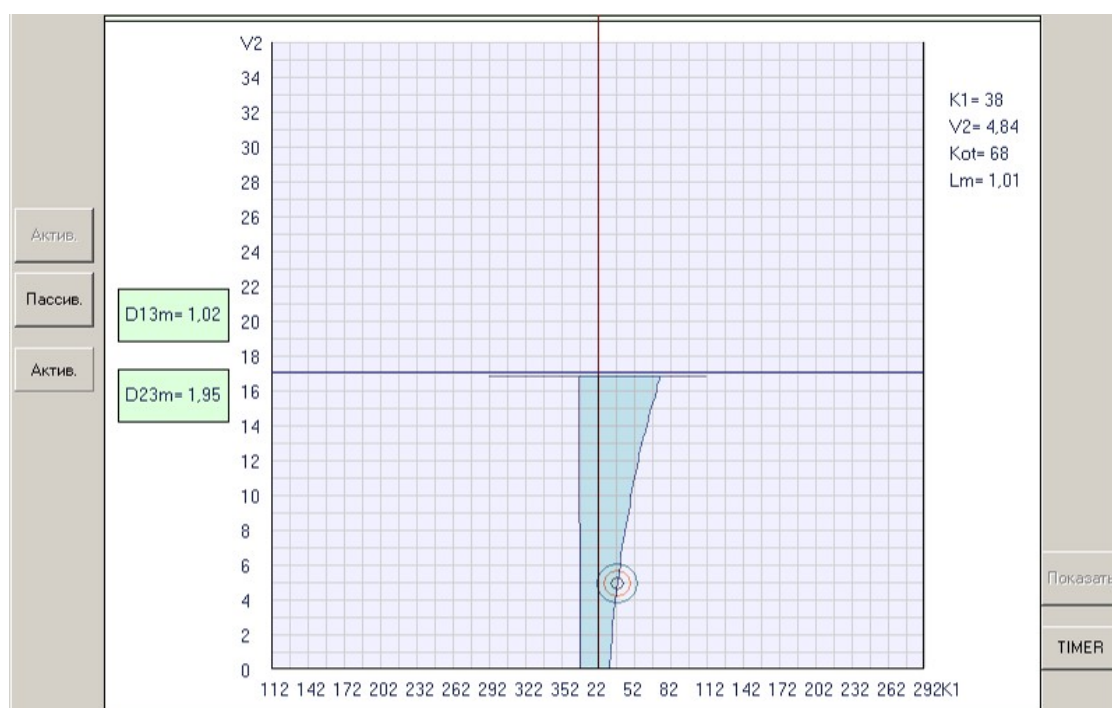


Рисунок 5.40 – Вибір безпечного маневру розходження трьох суден

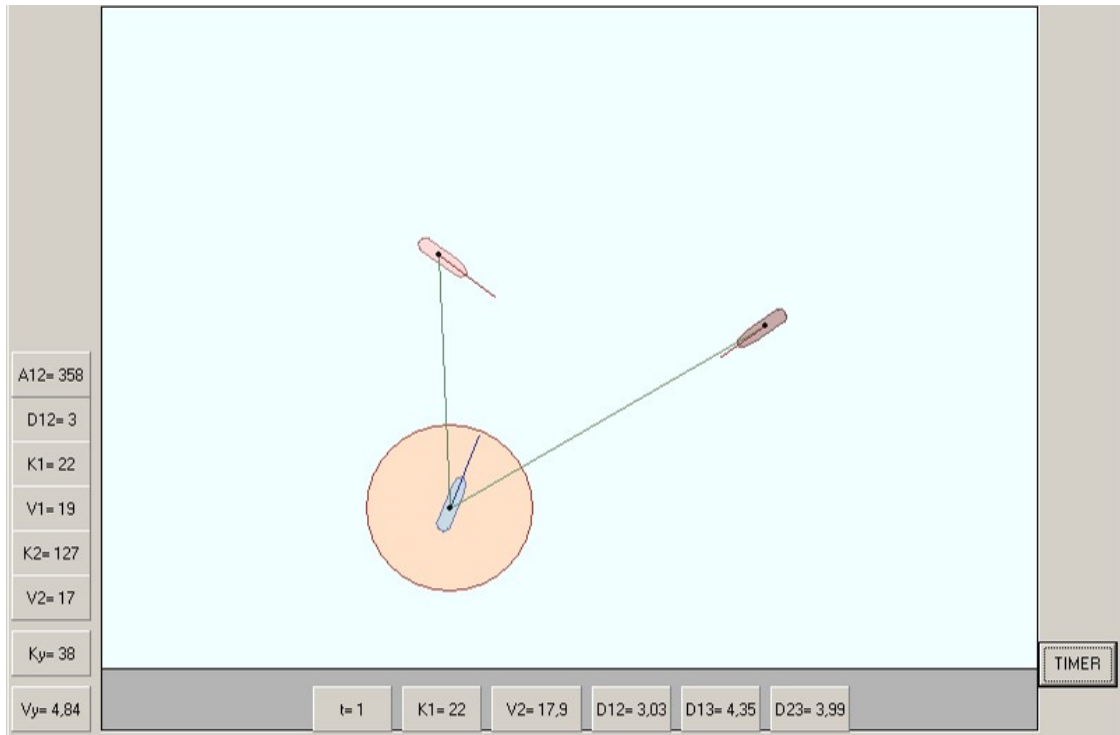


Рисунок 5.41– Початок процесу розходження

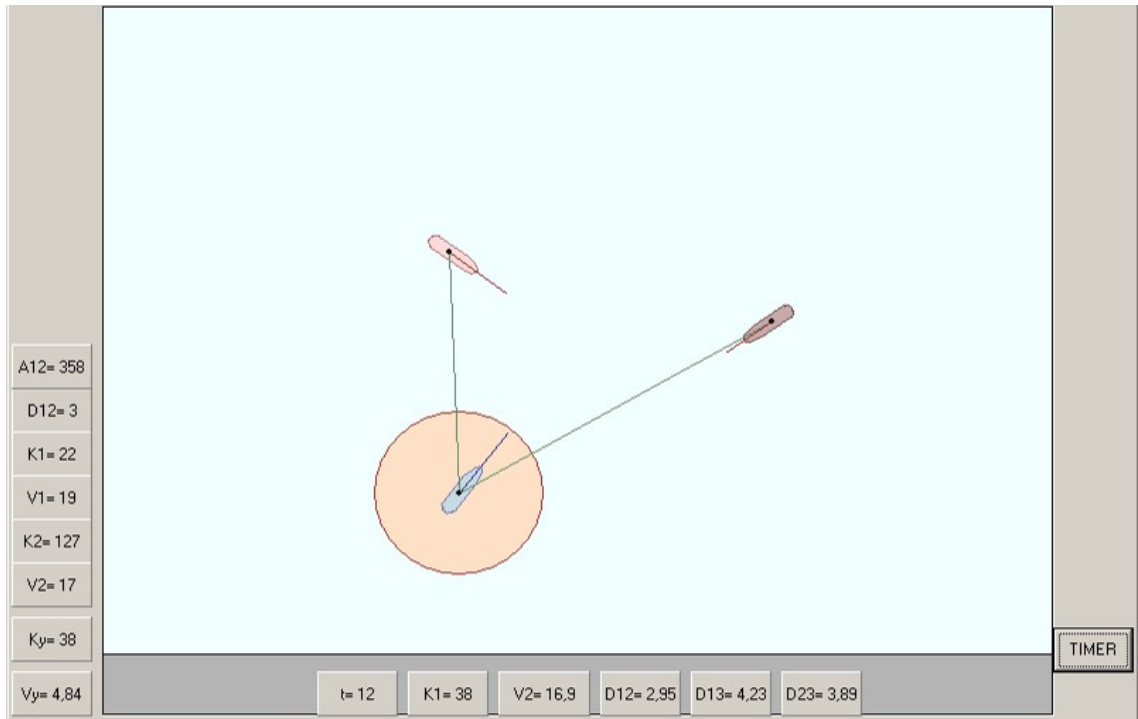


Рисунок 5.42 – Закінчення повороту першого судна

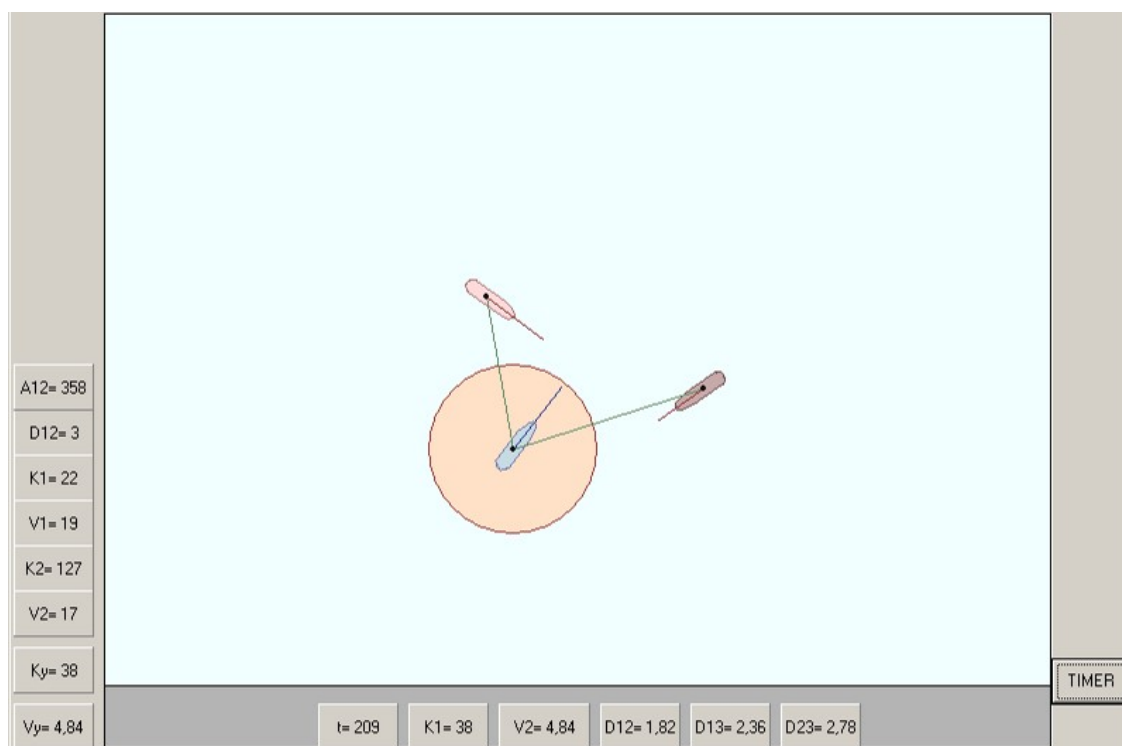


Рисунок 5.43 – Закінчення активного гальмування другим судном

Найкоротше зближення першого і третього суден відбувається на 406 с процесу розходження, як показано на рис. 5.44, і дистанція між суднами рівна 1,03 милі, що свідчить про безпечну розходження першого і третього суден. Незабаром на 465 с процесу розходження відбувається найкоротше зближення першого і другого суден на дистанції 1,00 милі, що передбачалося маневром, а дана ситуація найкоротшого зближення представлена на рис. 5.45. Розходження першого і другого суден також є безпечним, оскільки дистанція найкоротшого зближення рівна гранично - допустимій дистанції зближення. Надалі перше судно віддаляється від другого і третього суден, які продовжують зближуватися.

Нарешті, на 572 с процесу розходження досягається найкоротше зближення другого і третього суден на дистанцію 1,93 милі (рис. 5.46), яке також є безпечним. Отже, параметри маневру розходження з урахуванням судна, що заважає, визначені коректно.

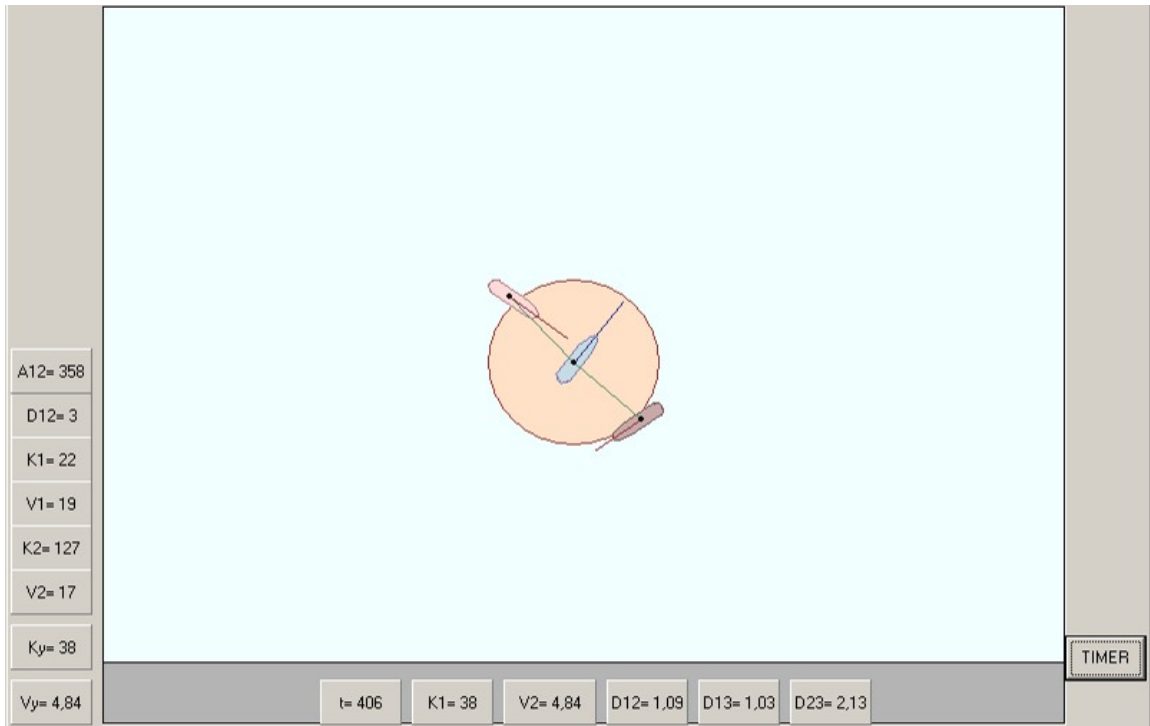


Рисунок 5.44 – Найкоротше зближення першого і третього суден

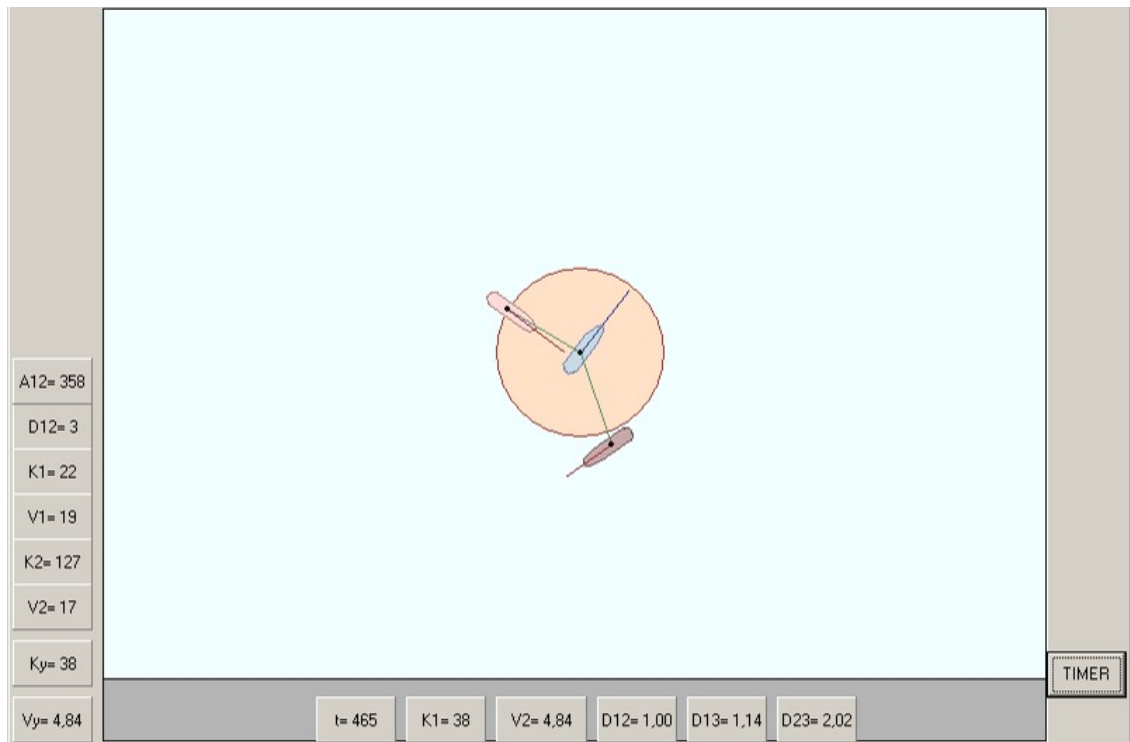


Рисунок 5.45 – Найкоротше зближення першого і другого суден

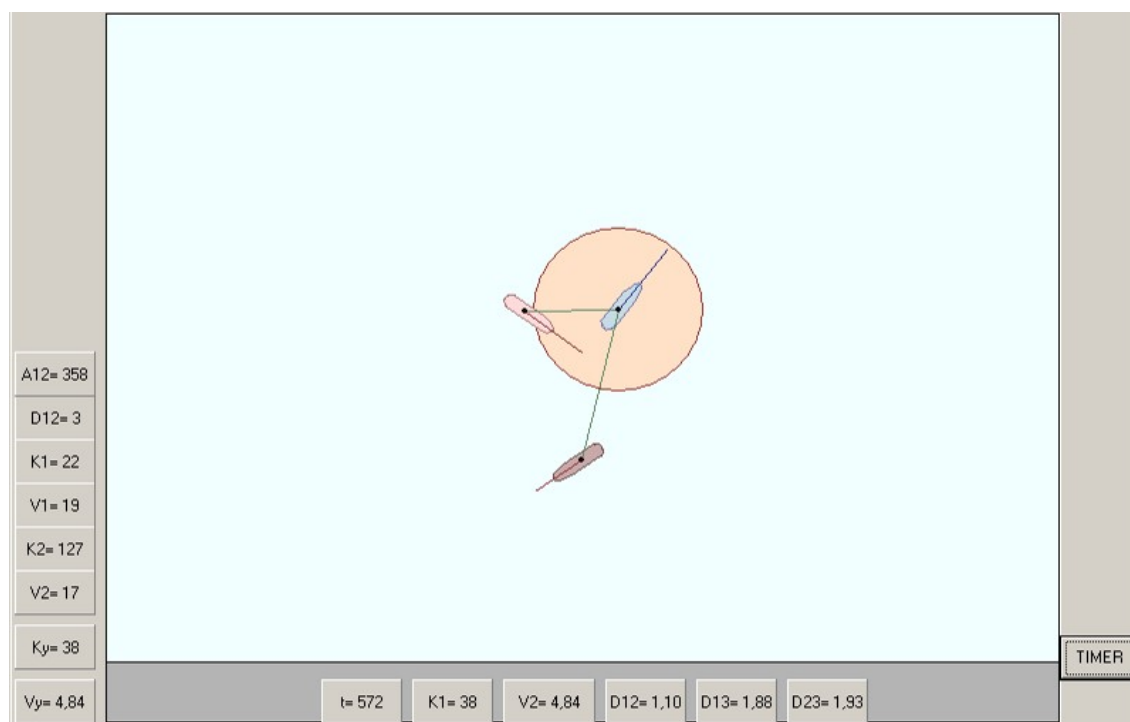


Рисунок 5.46 – Найкоротше зближення другого і третього суден

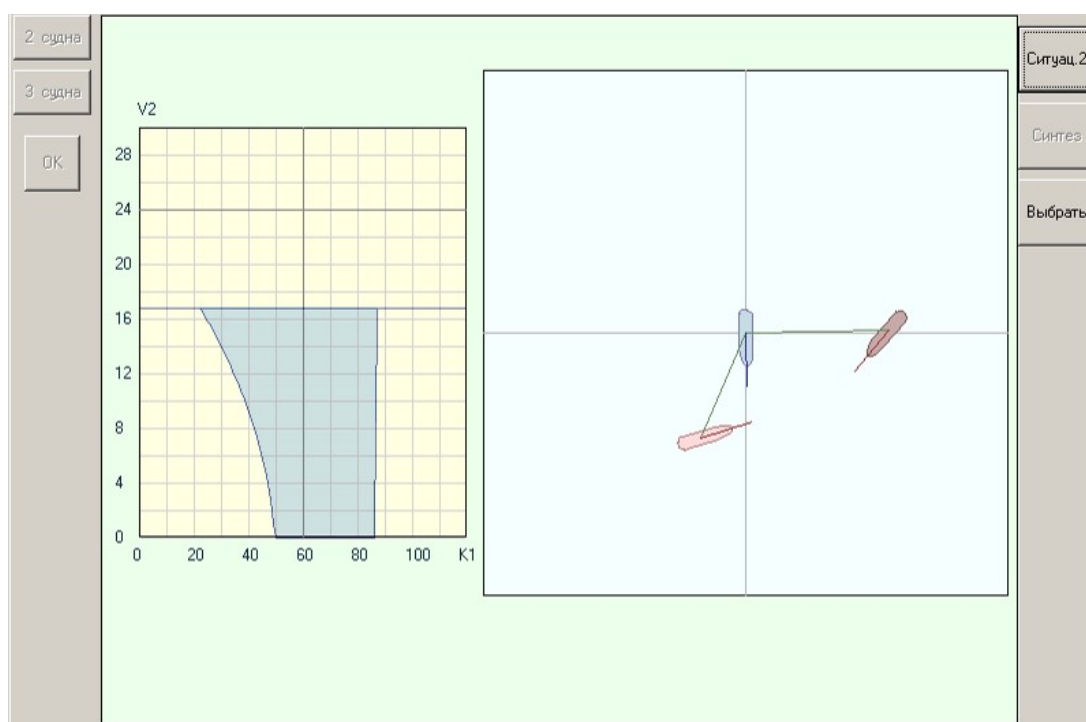


Рисунок 5.47 – Друга стандартна ситуація зближення трьох суден

Як черговий приклад була вибрана друга стандартна ситуація зближення

трьох суден, графічна ілюстрація якої приведена рис. 5.47. На рис. 5.48 показана область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна, що знижує швидкість активним гальмуванням. З того ж рис. 5.48 видно, що на межі області вибраний маневр розходження, який безпечний для всіх трьох суден. Початок маневру розходження відображений на рис. 5.49, судна зближуються один з одним. З моменту початку розходження перше судно починає поворот на курс 163° , одночасно друге судно починає активне гальмування з метою зниження швидкості, а третє судно слідує з незмінними курсом і швидкістю. Як відображено на рис. 5.50 в момент часу 12 с перше судно завершує поворот і далі слідує з незмінним курсом до закінчення маневру розходження. У момент часу 175 с, як показано на рис. 5.51, друге судно завершує активне гальмування, понизивши швидкість до 6,5 вузлів, після чого утримує її незмінною.

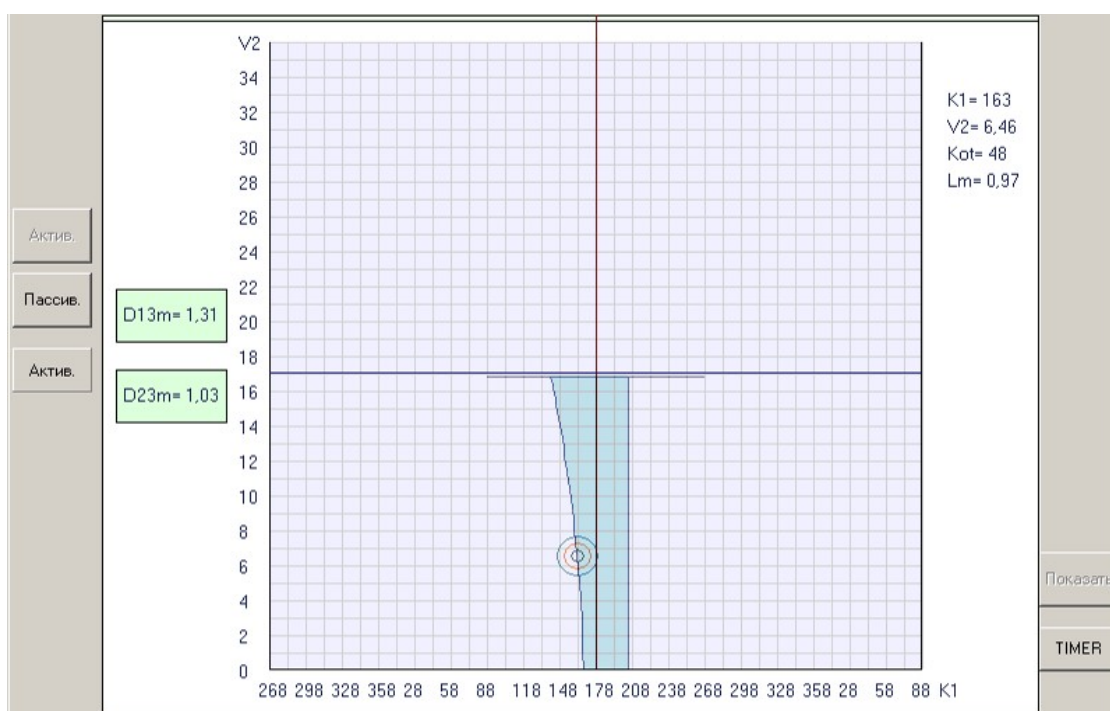


Рисунок 5.48 – Вибір безпечного маневру розходження трьох суден

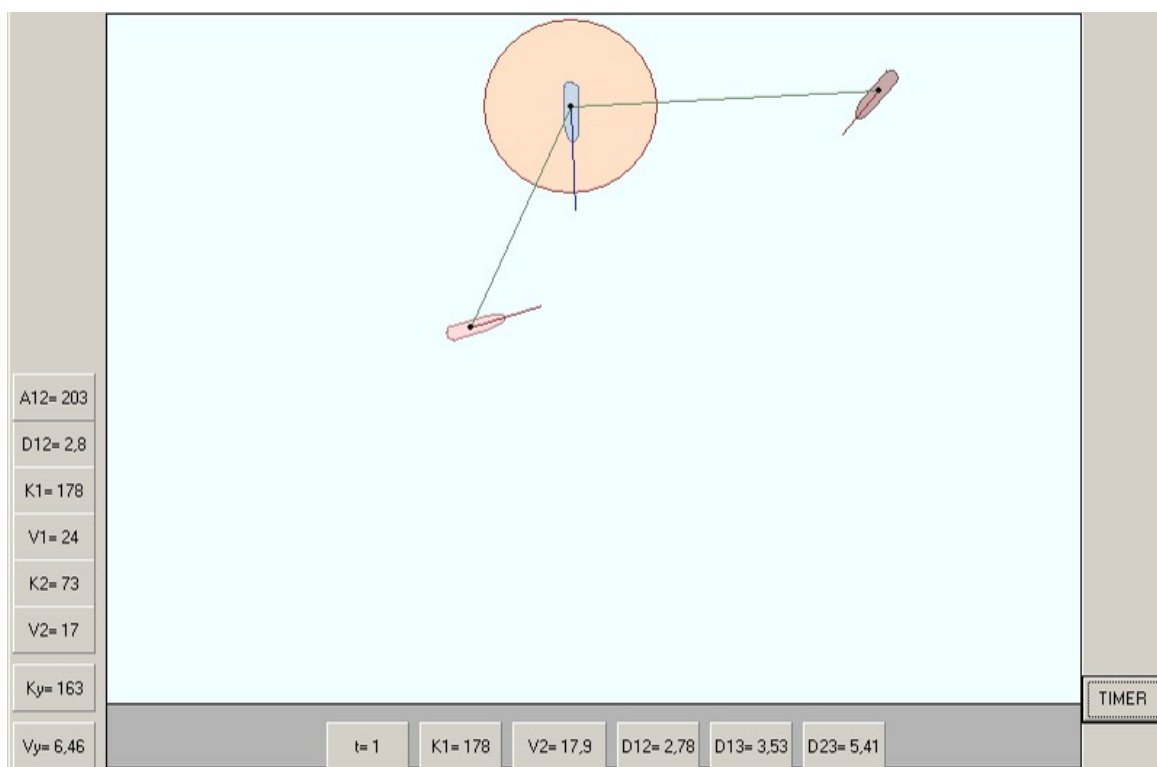


Рисунок 5.49 – Початок маневру розходження

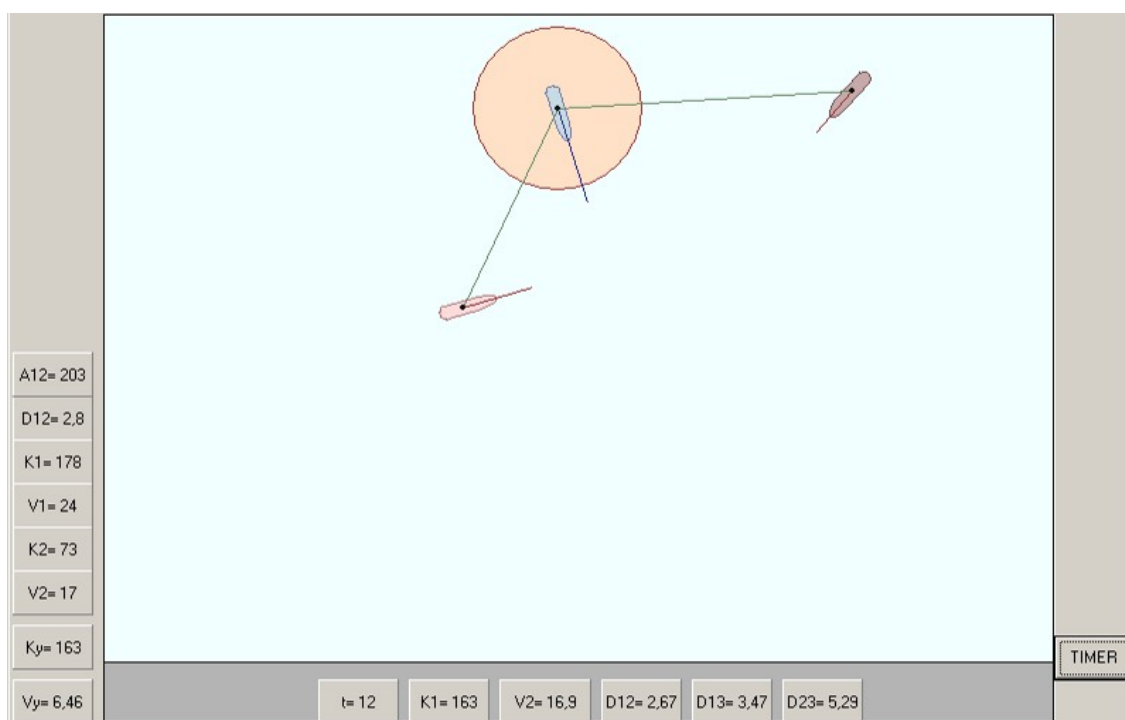


Рисунок 5.50 – Завершення повороту першого судна

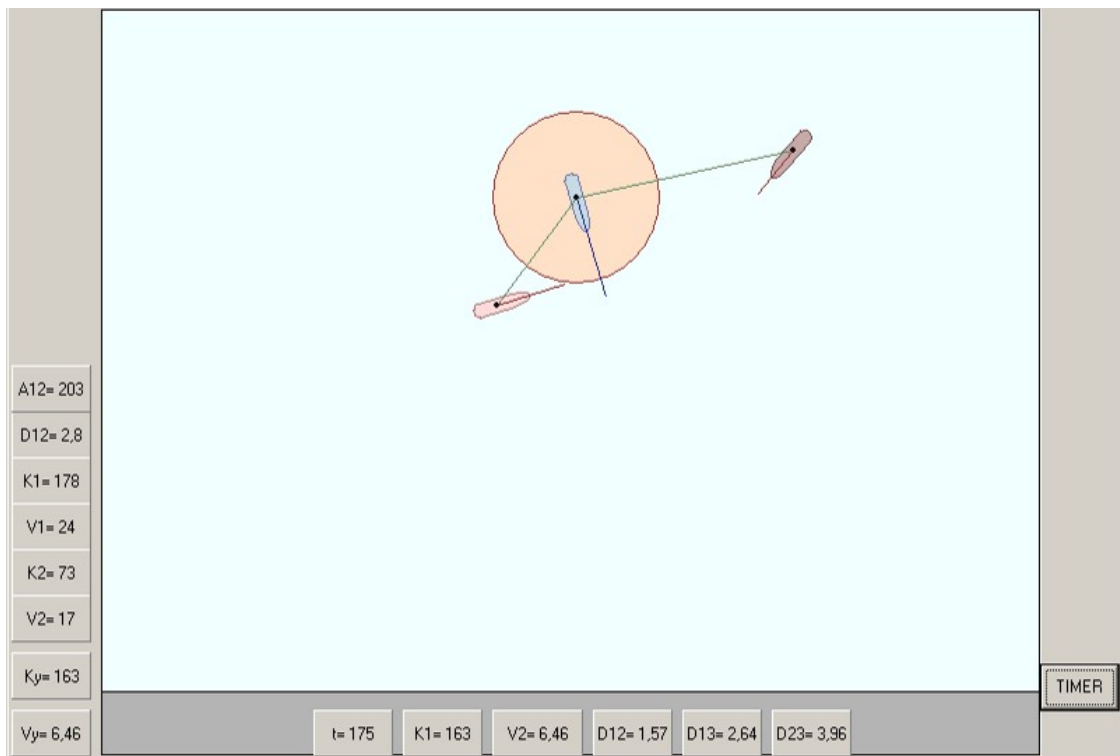


Рисунок 5.51 – Закінчення активного гальмування другим судном

На 315 с процесу розходження, як показано на рис. 5.52, має місце найкоротше зближення першого і другого суден, дистанція між якими рівна 1,00 милі, що свідчить про їх безпечне розходження. Найкоротше зближення першого і третього суден на дистанції 1,43 милі відбувається на 547 с процесу розходження, як показано на рис. 5.53. Розходження першого і третього суден також є безпечним, оскільки дистанція найкоротшого зближення більше гранично - допустимої дистанції зближення. Перше судно віддаляється від другого і третього суден, дистанція між якими скорочується.

Як показано на рис. 5.54, на 713 с процесу розходження досягається найкоротше зближення між другим і третім суднами на дистанцію 1,01 милі, яке також є безпечним. Таким чином, всі три судна безпечно розійшлися один з одним, тому параметри маневру розходження з урахуванням судна, що заважає, розраховані коректно.

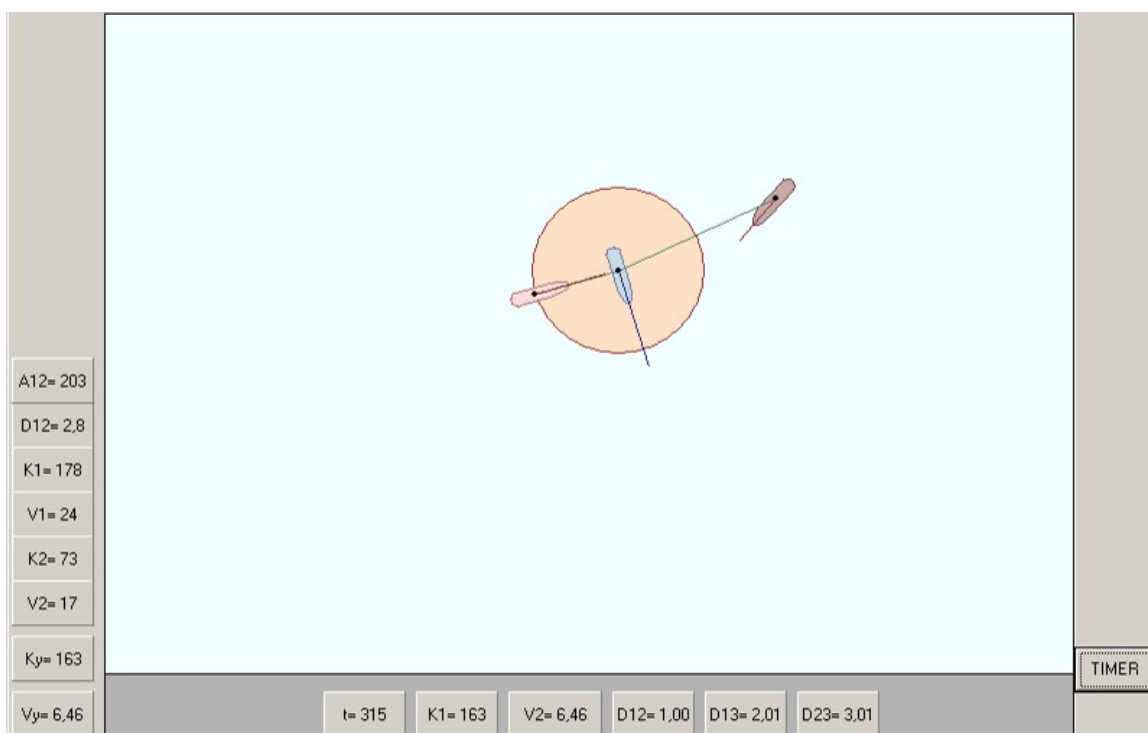


Рисунок 5.52 – Найкоротше зближення першого і другого суден

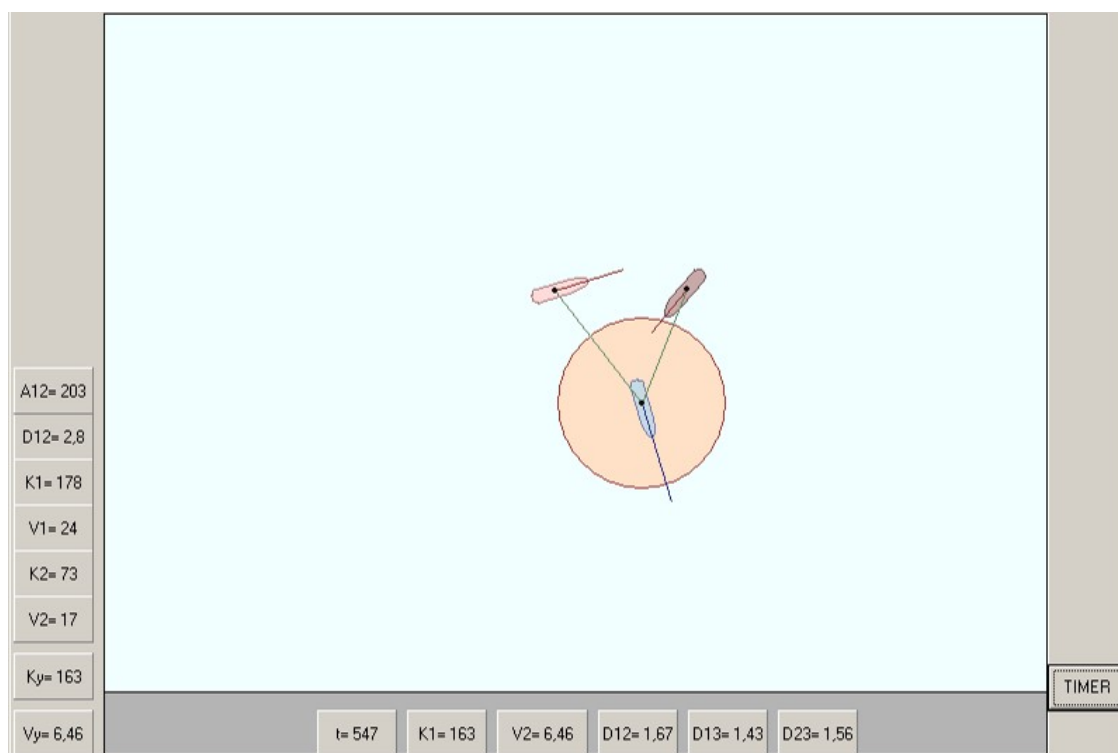


Рисунок 5.53 – Найкоротше зближення першого і третього суден

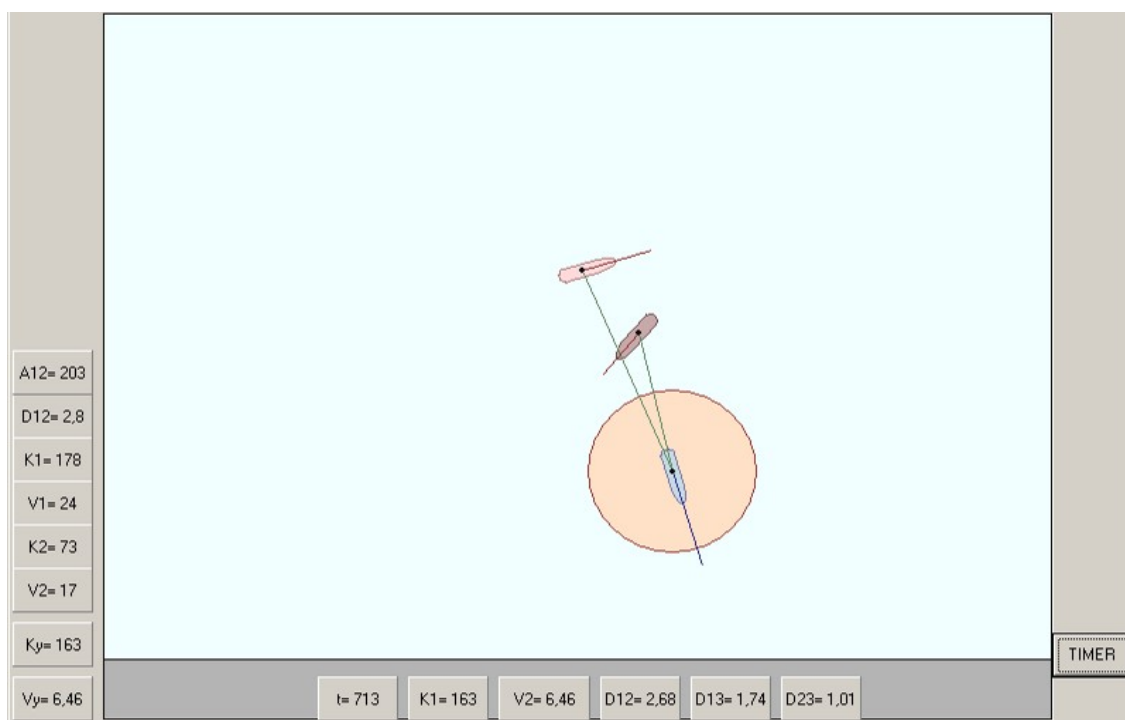


Рисунок 5.54 – Найкоротше зближення другого і третього суден

Розглянемо завершальний приклад ситуації зближення трьох суден, яка приведена рис. 5.55. Область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна при активному гальмуванні приведена на рис. 5.56. З цього ж рисунка видно, що безпечний маневр розходження вибраний не на межі області, а в стороні від неї, оскільки при ухиленні першого судна вліво маневри, вибрані на межі області, не забезпечують безпечну розходження всіх трьох суден. На рис. 5.57 показаний початок маневру розходження, причому з моменту початку розходження перше судно починає поворот на курс 57° , а друге судно одночасно починає активне гальмування, знижуючи швидкість. Третє судно протягом всього маневру розходження слідує з незмінними курсом і швидкістю. Як показано на рис. 5.58 перше судно до моменту часу 31 с завершує поворот і далі слідує з незмінним курсом до закінчення маневру розходження. Друге судно у момент часу 83 с, як показано на рис. 5.59, завершує активне гальмування, понизивши швидкість до 16,3 вузлів.

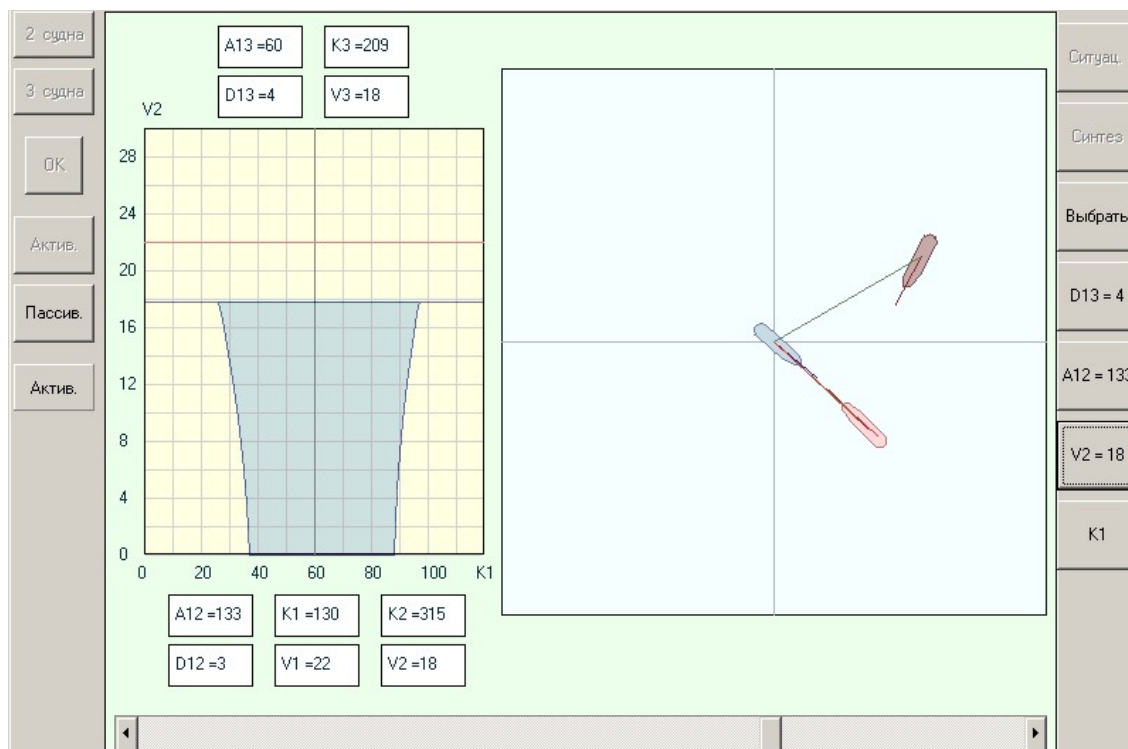


Рисунок 5.55 – Завершальна ситуація небезпечного зближення трьох суден

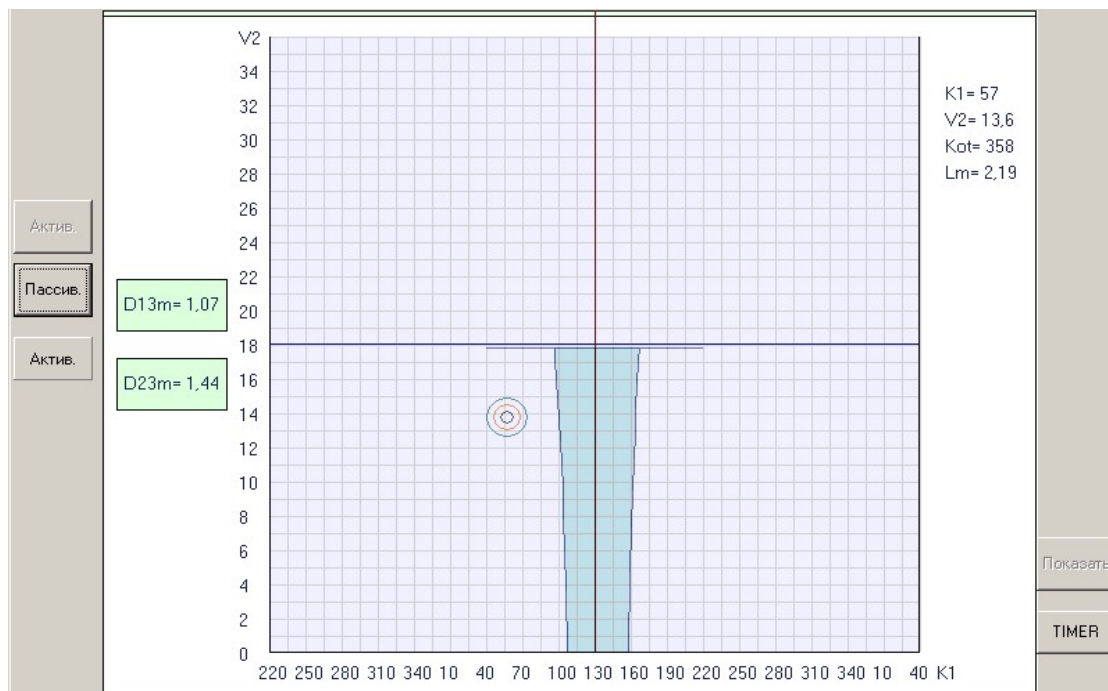


Рисунок 5.56 – Вибір маневру безпечного розходження

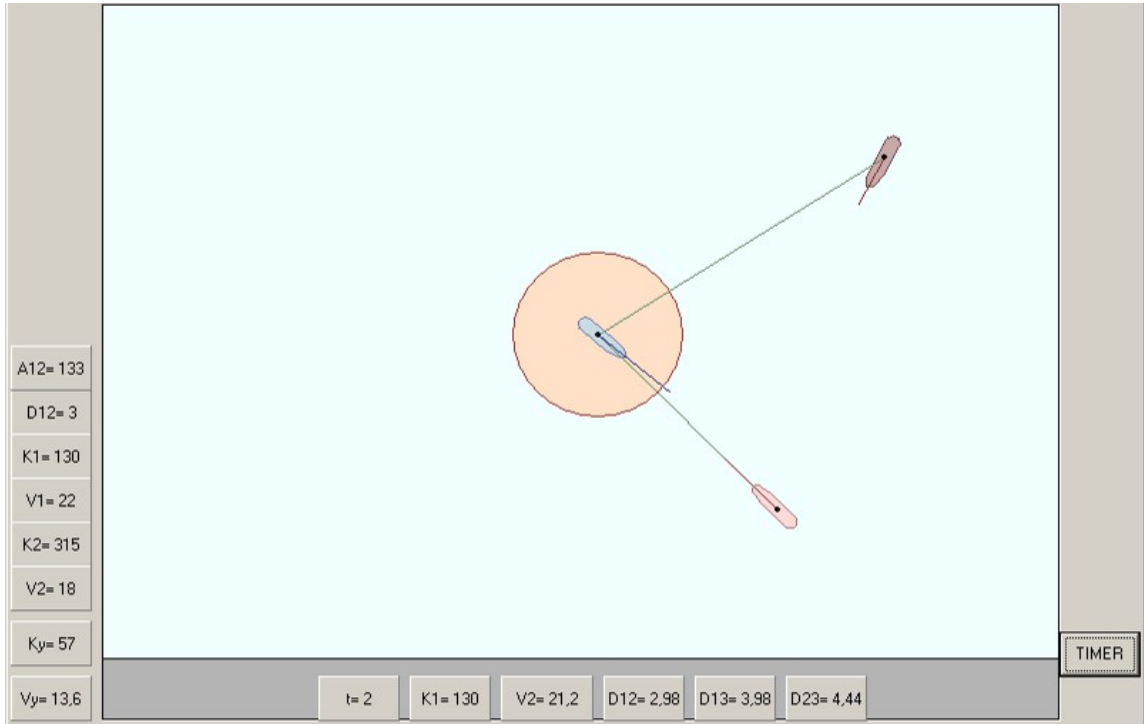


Рисунок 5.57 – Початок маневру розходження

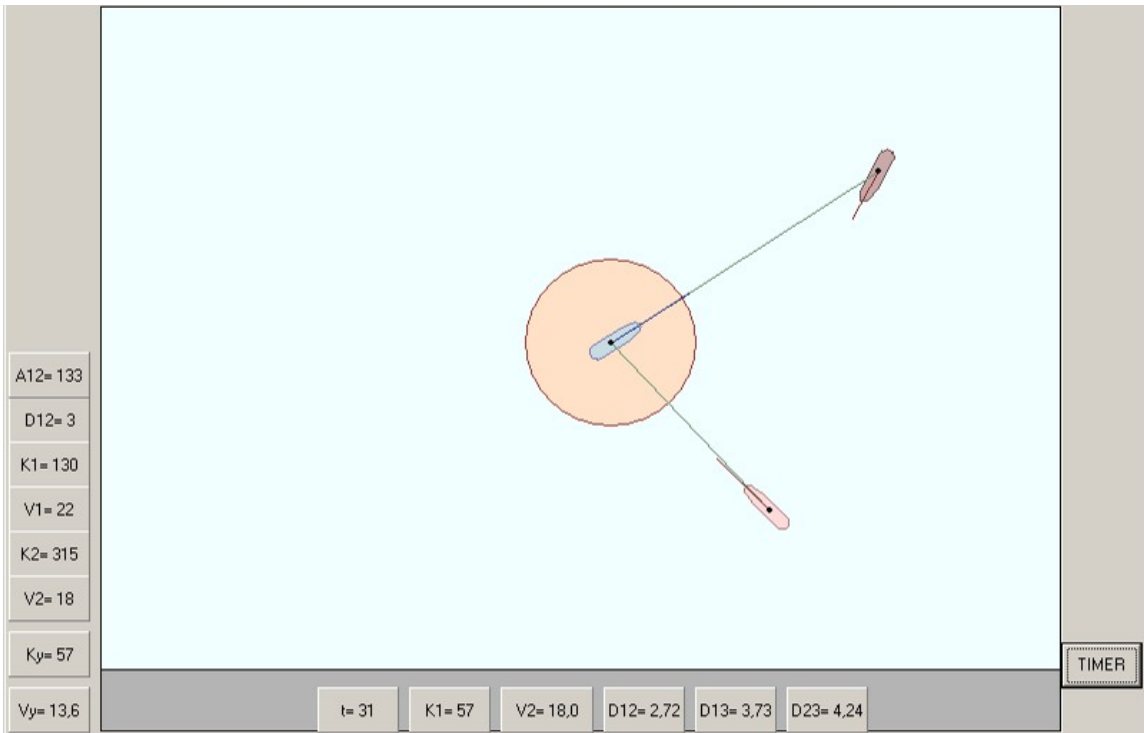


Рисунок 5.58 – Закінчення повороту першого судна

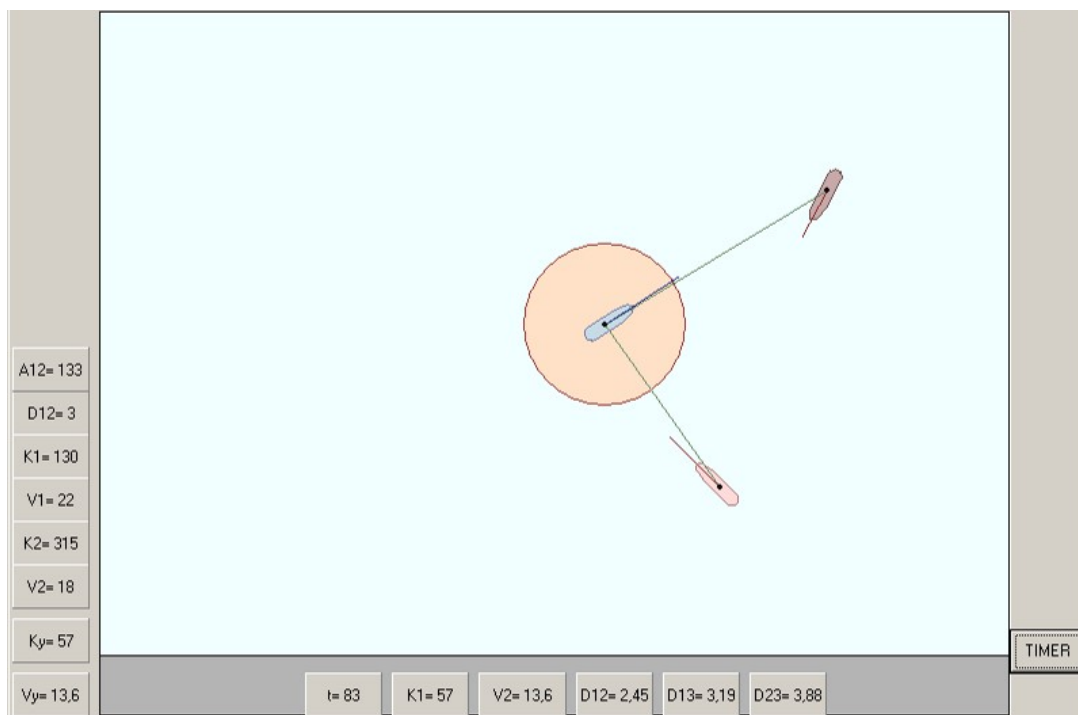


Рисунок 5.59 – Закінчення гальмування другого судна

У момент часу 312 с процесу розходження, як показано на рис. 5.60, має місце найкоротше зближення першого судна з другим і третім суднами, на дистанції відповідно 2,18 і 1,00 милі, що свідчить про їх безпечне розходження.

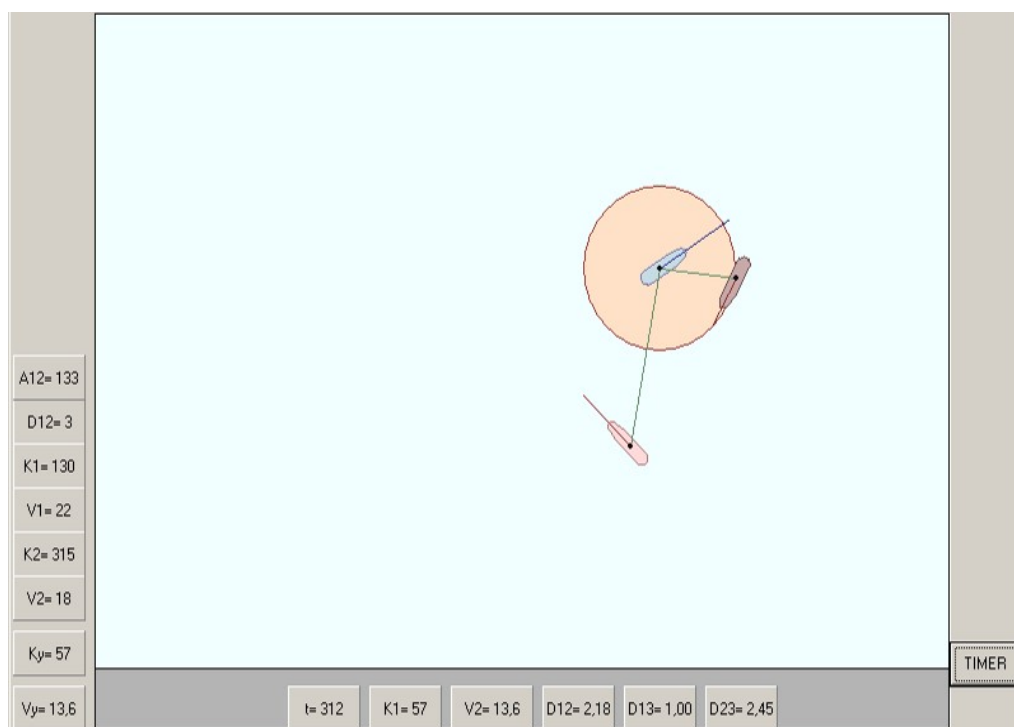


Рисунок 5.60 – Найкоротше зближення першого судна з другим і третім суднами

Значення зменшення швидкості судна «А» активним гальмуванням та зміни курсу судна "Б" запропонував та розрахував Пасечнюк Сергій.

Ситуація зближення суден на момент початку маневру розходження характеризується такими параметрами: пеленг судна «Б» - 227° , відстань між судами - 2,9 милі, параметри руху судна «А»: курс 186° , швидкість 10 вузлів; параметри руху судна «Б»: курс 066° , швидкість 12,5 вузлів.

На судні «А» були розраховані параметри маневру, що відповідають відстані найближчого зближення рівною 1 миля, і повідомлено судну «Б». За взаємною згодою суден був здійснений маневр розходження одночасним зменшення швидкості судна «А» активним гальмуванням до значення 8 вузлів і повороту судна «Б» до курсу 093° . В результаті маневру, відстань найближчого зближення становила 1,05 милі, що практично дорівнює розрахованому значенню, що підтверджує правильність методу маневру розходження, запропонованого Пасечнюком Сергієм.

5.4. Висновки за п'ятим розділом

У п'ятому розділі приведено опис імітаційної комп'ютерної програми для перевірки коректності одержаного в дисертаційній роботі способу вибору безпечного маневру розходження суден сумісною зміною курсу одного судна і швидкості іншого судна. При цьому враховується наявність третього судна, що заважає. В розділі також представлені результати перевірки імітаційним моделюванням процесу розходження суден в різних ситуаціях небезпечного зближення.

Розроблена комп'ютерна імітаційна програма містить три функціональні модуля: синтезу початкової ситуації небезпечного зближення двох суден з урахуванням третього судна, що заважає; формування областей неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна при активному або пасивному гальмуванні і розробка процедури розрахунку з їх допомогою

параметрів безпечних маневрів розходження; імітаційне моделювання заданого сумісного маневру розходження суден: зміною курсу першого судна і зниженням швидкості другого судна активним або пасивним гальмуванням.

Першим модулем програми генерується початкова ситуація небезпечного зближення суден з наявністю або без третього судна, що заважає, інтерактивним введенням її параметрів з визначенням значень дистанцій найкоротшого зближення з кожною з цілей. Також передбачений вибір стандартних ситуацій небезпечного зближення двох або трьох суден. Для початкової ситуації небезпечного зближення, що генерується або вибраної, другим модулем формується область неприпустимих значень курсів першого судна і швидкостей другого судна при обліку вибраного режиму гальмування, графічне зображення якої виводиться на екран монітора, що дозволяє вибрати параметри безпечного маневру розходження суден з подальшим відображенням їх значень на інформаційних панелях.

Для вибраного безпечного сумісного маневру розходження суден третій модуль комп'ютерної програми забезпечує імітаційне моделювання процесу розходження і виводить інформацію про поточні значення параметрів процесу розходження суден.

Процес імітаційного програвання маневру розходження є анімаційним відображенням процесу розходження суден за наявності або без третього судна, що заважає, аналіз якого дозволяє зробити висновок про коректність одержаних маневрів розходження суден. Представлені в п'ятому розділі результати імітаційного моделювання та верифікації маневрів розходження в представлених ситуаціях небезпечного зближення підтверджують коректність розробленого способу вибору за допомогою областей неприпустимих параметрів сумісного маневру розходження суден з урахуванням наявності третього судна, що заважає, або без нього, що є рішенням головної задачі дисертаційного дослідження.

Основні результати розділу опубліковані в роботах [1, 2, 7, 9, 10].

ВИСНОВКИ

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

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

У дисертаційній роботі:

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

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

Матеріали дисертаційного дослідження увійшли складовою частиною в заключний звіт по науково-дослідній роботі « Забезпечення безпеки

судноводіння в стислих районах плавання» НУ «ОМА», Одеса 2018. (акт від 20.02.2019 р.).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. – М.: Транспорт, 1989. – 230 с.
2. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана / Сорокин А.И. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – 287 с.
3. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. – Vol. 32. – № 3. – P. 426 – 429.
4. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения:-Т.2. / Феллер В. – М.: Мир,1984. – 751 с.
5. 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 – 156.
6. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207 – 225.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

11. Ворохобин И.И. Траекторная погрешность поворота судна и способы снижения ее величины/ Ворохобин И.И., Казак Ю.В., Северин В.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 101 – 105.

12. 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.

13. Казак Ю.В. Зависимость погрешности бокового отклонения судна от траекторной погрешности поворота судна /Казак Ю.В. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. – С. 75 – 78.

14. 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. – P. 192 – 194.

15. 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.

16. Ворохобин И.И. Анализ возможности применения ортогонального разложения плотности смешанных законов распределения погрешностей полиномами Эрмита /Ворохобин И.И., Фусар И.Ю., Алексейчук Б.М. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(18), Issue: 158, 2018. – С. 84 – 88.

17. Ворохобин И И. Определение места судна при избыточных измерениях применением ортогонального разложения плотности распределения погрешностей навигационных измерений /Ворохобин И И., Астайкин Д. В. // Austria - science, Issue: 11, 2018. – С. 34 – 39.

18. Ворохобин И.И. Свойство ортогональности полиномов Эрмита плотности распределения закона гаусса ненормированной погрешности навигационных измерений /Ворохобин И.И. // Austria – science, Issue: 16, 2018. – С. 49 – 56.

19. Ворохобин И.И. Влияние закона распределения погрешности бокового отклонения на вероятность безопасного прохождения судном стесненного маршрута/ Ворохобин И.И. // East European Science Journal №5, (33), 2018, part 1. – С. 30 – 37.

20. Глушков С.В. Использование нечеткой логики в системе автоматического управления курсом судна /Глушков С.В.// Приборы и системы: Упр., контроль, диагност. 2007, № 8. – Р. 28 – 32.

21. K. Benedict. Manoeuvring Simulation on the Bridge for Predicting Motion of Real Ships and as Training Tool in Ship Handling Simulators/ K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Baldauf // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 3, № 1, page 25 – 30, 2009.

22. Y. Kalinichenko. Analysis of mathematical models of changing the vessel's course when turning./ Y. Kalinichenko, I. Burmaka//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. –2016.-6/9 (84). – P. 20 – 31.

23. C.J. Shi. Identification of Ship Maneuvering Model Using Extended Kalman Filters/ C.J. Shi, D. Zhao, J. Peng, C. Shen// TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 3, № 1, 2009, page 105 – 110.

24. Nakamura S. Study on Manoeuvring Criteria for Safety Assessment in Shallow Water./ Nakamura S. // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 3, doi:10.12716/1001.11.03.01, pp. 401 – 407, 2017.

25. Вагущенко Л.Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности / Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко С.И – Одесса: Феникс, 2005. – 274 с.

26. Калиниченко Г.Е. Учет динамических характеристик судна при расчете

момента времени его поворота на программный курс/ Калиниченко Г.Е. // Проблемы техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014. № 1 . – С 118 – 122.

27. Попов А. В. О повышении управляемости судна при ветре посредством ввода интеллектуальной составляющей в алгоритм авторулевого/ Попов А. В. // Вести. ВГАВТ. 2005, № 14. – С. 27 – 35.

28. Стебновский О.В. Формирование переходной траектории поворота судна / Стебновский О.В.// Автоматизация судовых технических средств. – 2010. – № 16. – С. 92 – 95.

29. K. Benedict. Simulation Augmented Maneuvering Design and Monitoring – a New Method for Advanced Ship Handling/ K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Schaub, M. Baldauf , S. Klaes// TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 8, № 1, page 131 – 141, 2014.

30. Бурмака И.А. Расчет характеристик поворотливости судна по экспериментальным данным / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. – № 9. – С. 7 – 13.

31. Грауэр Л. В. Синтез закона управления морским подвижным объектом для решения задачи динамического позиционирования / Грауэр Л. В., Лопарев А. В. Навигация и управление движением: Материалы 8-й Конференции молодых ученых: 1 этап, Санкт-Петербург, 11-16 марта, 2006; 2 этап, Санкт-Петербург (в Интернете), 1 июня – 31 окт., 2006; 3 этап, Санкт-Петербург, 25–29 сент., 2006. СПб: ЦНИИ "Электроприбор". 2007. – С. 137 – 143.

32. Бурмака И.А. Расчет длительности поворота судна при расхождении / Бурмака И.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2002. – №7. – С. 3 – 6.

33. Lazarowska A. Multi-criteria ACO-based Algorithm for Ship's Trajectory Planning/ Lazarowska A.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 1, page. 31 – 36, 2017.

34. 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.

35. Фрейдзон И. Р. Моделирование корабельных систем управления / Фрейдзон И. Р. – Л.: Судостроение, 1975. – 232 с.

36. Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / Кудряшов В. Е. // Судостроение. – 1978. – №5. – С. 35 – 40.

37. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем/ Павлов В.В. – Киев: Наукова думка, 1975. – 240 с.

38. Павлов В.В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления/ Павлов В.В. – Киев: Наукова думка, 1971. – 272 с.

39. Богачук Ю.П., Положенцев И.А. Эргатическая система управления групповым движением судов/Богачук Ю.П., Положенцев И.А.// Кибернетика и вычислительная техника. – 1984. – № 61. – С. 20 – 23.

40. Шептуха Ю.М. Некоторые вопросы постановки задачи синтеза систем управления движением судна в условиях конфликта / Шептуха Ю.М. // Кибернетика и вычислительная техника. – 1984. – № 61. – С. 44 – 48.

41. Шепетуха Ю. М. Применение комбинированного маневра в эргатических системах разрешения навигационного конфликта / Шепетуха Ю. М. // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – № 68. – С. 45 – 48.

42. Положенцев М. А. Применение двухэлементных стратегий расхождения в эргатических системах предупреждения столкновений судов / Положенцев М. А., Шепетуха Ю. М. // Кибернетика и вычислительная техника. – 1987. – №76. – С. 19 – 21.

43. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

44. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.

45. 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.

46. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.

47. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.

48. Мальцев А.С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов / А.С. Мальцев // Судовождение : сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса : ИздатИнформ, 2006. – Вып. 11. – С. 74 – 86.

49. Мальцев А.С. Управление движением судна / Мальцев А. С. – Одесса: Весть, 1995. – 230 с.

50. Мальцев А.С. Выбор оптимального курса для расхождения судов при криволинейном движении / Мальцев А.С., Май Ба Линь // Судовождение. – №7. – 2004. – С. 47 – 57.

51. Мальцев А.С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. – 1989. – №5. – С. 29 – 31.

52. Мальцев А.С. Методологические основы маневрирования судов при сближении /Мальцев А.С., Голиков В.В., Сафин И.В. и др. – Одесса: ОНМА, 2013. – 218 с.

53. Мальцев А.С. Теория и практика безопасного управления судном при маневрировании [Текст] / А. С. Мальцев. – Дис....докт. техн. наук: 05.22.16. – Одесса, 2007. – 395 с.

54. Мальцев А.С. Инверсный метод планирования траектории движения объектов управления /Мальцев А. С. //Судовождение: Сб. научн. трудов /ОНМА, вып. 13 – Одесса: «ИздатИнформ», 2007. – С. 124 – 130.

55. Нгуєн Тхань Шон. Исследование точности оценки параметров расхождения в системах управления движением судов./Нгуєн Тхань Шон.//весник ОНМУ/ вып.27. – Одесса.:ОНМУ, 2009. – С. 146 – 158.

56. 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.

57. 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.

58. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71 – 78.

59. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3–4, Vol. XVII. – P. 133 – 147.

60. 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.

61. 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.

62. 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.

63. 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, No. 1, page 23 – 29, 2015.

64. 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.

65. 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.

66. 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 – 49.

67. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э.Н., Пасечнюк С.С., Омельченко Т.Ю.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 97 – 101.

68. Пятаков Э.Н. Особенности расчета параметров маневра уклонения при локально-независимом управлении процессом расхождения судов/ Пятаков Э.Н.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. – С. 90 – 94.

69. 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, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 72 – 76.

70. Пятаков В.Е. Спосіб послідовного розходження судна з двома небезпечними цілями / Пятаков В.Е., Петріченко О.О., Калюжний В.В.// Автоматизация судовых технических средств. – 2018. – № 24 – С. 29 – 33.

71. Волков Е.Л. Использование областей недопустимых значений параметров движения судна при локально-независимом управлении процессом расхождения / Волков Е.Л.// East European Science Journal, , №11 (27), 2017, part 1. – С. 14 – 24.

72. 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 – 39.

73. Бурмака И.А. Учет инерционно-тормозных характеристик при выборе маневра расхождения изменением скоростей судов / Бурмака И.А. // Austria –

science, Issue: 16, 2018. – С. 34 – 38.

74. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения / Пасечнюк С.С. // Austria – science, Issue: 16, 2018. – С. 38 – 44.

75. Бурмака И.А. Предупреждение столкновений судов методами внешнего управления процессом расхождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 56 – 60.

76. Волков Е.Л. Выбор маневра расхождения судна изменением курса с помощью области недопустимых параметров движения / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 97 – 101.

77. Волков А.Н. Использование виртуальных областей при плавании судна в стесненных водах/ А.Н. Волков, А.А. Голиков, А.Ю. Булгаков // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 93 – 97.

78. Омельченко Т.Ю. Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения / Омельченко Т.Ю. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. – С. 82 – 85.

79. Бурмака И.А. Выбор совместной стратегии расхождения судов изменением параметров движения при их внешнем управлении. / И.А. Бурмака, С.С. Пасечнюк // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 41 – 46.

80. Y.L. Volkov. The Choice of the Maneuver of the Vessel's Passing Considering the Coordination's System of the Interactive Vessels and Their Dynamic Characteristics / Y.L. Volkov, E.N. Pyatarov & Y.V.Kalinichenko // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 1, page 79 – 82, 2017.

81. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна

уклонением вправо в множество относительных траекторий / Омельченко Т.Ю., Пятаков Э.Н., Тюпиков Е.Е. // East European Science Journal, №11 (27), 2017, part 1. – С. 58 – 69.

82. Бурмака И.А. Маневр последовательного расхождения с двумя целями изменением курса и пассивным торможением/ Бурмака И.А., Пятаков Э.Н. // East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. – С. 19 – 25.

83. Пасечнюк С.С. Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения/ Пасечнюк С.С.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. – С. 25 – 30.

84. 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, No. 3, 2015, page 335 – 341.

85. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения/ Бурмака И.А., Пасечнюк С. С., Кулаков М. А.// Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 – 80.

86. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении./ Бурмака И.А.,Кулаков М.А.,Пасечнюк С.С.// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1. – С. 40 – 48.

87. Калиниченко Г. Е. Учет динамических характеристик судов при формировании области их опасных курсов / Калиниченко Г. Е., Пасечнюк С.С. // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017 г. – Харьков – С. 28 – 34.

88. Алексейчук Б.М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений /Алексейчук Б.М., Пасечнюк С.С. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 10 – 15.

89. Калиниченко Г. Е. Формирование области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик/ Калиниченко Г.Е., Пасечнюк С.С. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 44 – 51.

90. Бурмака И.А. Формализация области опасных курсов и скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Бурмака И.А., Пасечнюк С.С. // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, – 2017. – Вып. 28. – С. 16 – 23.

91. Алексейчук Б.М. Определение законов распределения погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., Пасечнюк С.С. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16–17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 52 – 53.

92. Алексейчук Б.М. Проверка статистических гипотез распределения погрешностей измерения навигационных параметров/ Алексейчук Б.М., Пасечнюк С.С. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23–25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 78 – 81.

93. Алексейчук Б.М. Влияние длительности формирования выборки на закон распределения вероятностей погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е., Пасечнюк С.С. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17–18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 23 – 25.

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

95. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику/ У. Росс Эшби. – М.: Мир, 1959. – 256 с.

96. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ Булгаков А.Ю.// Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 12 – 17.

97. Бурмака И.А. Определение области курсов двух судов, обеспечивающих безопасное расхождение/ Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. //Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2014. – выпуск 2 (7). – С. 17 – 20.

98. Кулаков М.А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов/ Кулаков М.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 – С. 112 – 118.

99. Тюпиков Е.Е. Зависимость момента начала маневра расхождения изменением скорости от инерционных характеристик судна / Тюпиков Е.Е., Цымбал Н.Н. // Судовождение: Сб. научн. трудов.- Вып. 14/ ОНМА,– Одесса: Издатинформ, 2007 – С. 130 – 135.

100. Бурмака И.А. Условие существования множества маневров расхождения судов изменением скоростей // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, – 2017. –Вып. 27. – С. 32 – 37.

101. Бурмака И.А. Способ аналитического расчета оптимального маневра расхождения пары судов изменением скоростей/ Бурмака И.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 9 – 14.

102. Кулаков М. А. Выбор оптимальных скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Кулаков М. А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 51 – 57.

103. Демин С.И. Торможение судна / Демин С.И.– М.: Транспорт, 1975.– 81 с.

104. Вагущенко, Л.Л. Судно как объект автоматического управления / Л.Л. Вагущенко – Одесса: ОГМА, 2000. – 140 с.

105. Турчак Л. И. Основы численных методов./ Л. И. Турчак– М.: Наука. Гл.

ред. физ. – мат. лит., 1987. – 320 с.

106. Якушев А.О. Процедура определения параметров судовой безопасной области в системах предупреждения столкновений судов / Якушев А.О. // Проблемы техники: Науково-виробничий журнал. – 2013. № 4 . – С. 183 – 187.

107. Якушев А.О. Предупреждение столкновения судов в системе параметров прямоугольной области/ Якушев А.О. // Проблемы техники: Науково-виробничий журнал. – 2014. № 1 . – С 113 – 117.

108. Якушев А.О. Зависимость размеров судовой безопасной области от плотности распределения вероятностей позиционных погрешностей/ Якушев А.О. // Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 84 – 89.

109. Волков А.Н. Определение размеров безопасной судовой стохастической области / Волков А.Н., Якушев А.О. // Проблемы техники: Науково-виробничий журнал. – 2014. №4 . – С 86 – 95.

110. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

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

ДОДАТОК А.**Фрагмент лістингу програми для розрахунку межі області
неприпустимих значень курсу одного судна і швидкостей іншого**

```
unit Unit_Gidr;
interface
(* Блок вводу початкових даних ситуації опасного зближення*)
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Image1: TImage;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    ButtonOK: TButton;
    Timer1: TTimer;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    Button13: TButton;
    Button14: TButton;
    ScrollBar1: TScrollBar;
    Button6: TButton;
    Button9: TButton;
    Button10: TButton;
    Panel1: TPanel;
    Panel2: TPanel;
    Panel3: TPanel;
    Panel4: TPanel;
```

```
Panel5: TPanel;
Panel6: TPanel;
Panel7: TPanel;
Button11: TButton;
Button12: TButton;
Button15: TButton;
Button16: TButton;
Button17: TButton;
Button18: TButton;
Button19: TButton;
Button20: TButton;
Button21: TButton;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
procedure FormDestroy(Sender: TObject);
procedure ButtonOKClick(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button14Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure ScrollBar1Scroll(Sender: TObject; ScrollCode: TScrollCode;
    var ScrollPos: Integer);
procedure Image1Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button13Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure Image2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
procedure Image3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
```

```

    Y: Integer);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
procedure Button15Click(Sender: TObject);
procedure Button12Click(Sender: TObject);
procedure Button16Click(Sender: TObject);
procedure Button17Click(Sender: TObject);
procedure Button18Click(Sender: TObject);
procedure Button19Click(Sender: TObject);
procedure Button20Click(Sender: TObject);
procedure Button21Click(Sender: TObject);

private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

type

APt = array[0..30] of TPoint;
Pt = array[0..120] of TPoint;
BPt = array[1..4] of TPoint;
Pt180 = array[1..180] of TPoint;
Pt360 = array[1..360] of TPoint;
Pt1 = array[1..720] of TPoint;

var
    Form1: TForm1;

    PortsBmp, CopyBmp, HoldBmp, MapBmp, Ports1Bmp, Copy1Bmp : TBitmap;

    StBt : string[3];
    L,N,{m,}IndOK,r,fi,Nb,Rd,Gr,B1 : byte;
    {mo,h,wd,A,C,psi,A2,A3,DVn,}Kot,Vot : real;
    deltj : array[0..120] of real;

```

t,delt,t1,Alf,Xs,Ys : word;
 K1,K2,V1,V2,SL,SN,sign0,sign1,sign2,sign3,del: Integer;
 Pdj : Pt;

Lm,D,Dd,V1y,V2y,taua,taup,Vyp,taur,tau1,tau2,
 Sa,Sp,Sr,S1,S2,taup2,taua2,Sp2,Sa2 : real;
 V1min,V2min,taumx,td,taumn : real;
 Xcn,Ycn :Integer;
 Qa,Qp,Kc1,Kc2,Xt1,Yt1,Xt2,Yt2,Xt1y,Yt1y,Xt2y,Yt2y : word;
 IndVs1,IndVs2,Vsl,OkVs1,OkVs2,IndScrl : byte;

X1o,Y1o,X2o,Y2o,X1t,Y1t,X2t,Y2t,St1,St2,Dt,Alft,DXt,DYt,Alfp : real;
 tn1,tn2,tn,Xp1,Yp1,Xp2,Yp2,tn3 : word;

Xn1,Yn1,Xn2,Yn2,Xn1t,Yn1t,Xn2t,Yn2t : word;
 Re1 : APt;
 Re,ReV : Pt;
 IndTimer,Lv,Bv,L1,L2,Nsit : byte;
 V1t,V2t,X1tk,Y1tk,X2tk,Y2tk,tau1f,tau2f,V1f,V2f,Kotp : real;

dS1,dS2,dX1,dY1,dX2,dY2,delX,delY,Dmn,B1,B2,Smx,Smn,Vmx,Vmn,Vmny :
 real;

X1tr,Y1tr,X2tr,Y2tr,X1rl,Y1rl,tf,tmn,Kmx,Kmn : word;

gam1,gam2,myu1,myu2,gam12,gam22,V21t,V22t,V2m1,V2m2,X1,Y1,X2,Y2,X3,Y
 3 : real;

a1,a2,c1,c2,bgn,fin : word;
 Gr0,Gr1,Gr2,Gr3 : Pt360;
 Grs,Grs1 : Pt1;
 Grtr,Grtr1 : Pt180;

X21t,Y21t,X22t,Y22t,d1,d2,K1y,K3,V3 : Integer;
 Ind1,IndCrt,Ind3V : byte;
 M,myu,Pm,Xvsv,Yvsv,Xtv,Ytv,Kotva,Votv,Dva,alfva,Dmina : real;
 Kotvp,Dvp,alfvp,Dminp,V1k,D3,Dm13,Dm23,Xv3,Yv3,Dv13,alfv13 : real;
 Kn1,Kn,Count,alf3,Nv1 : word;

Dv23,alfv23 : real;

implementation

{ \$R *.DFM }

uses Unit_2D;

(* Блок відображення області неприпустимих значень руху*)

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject); {CREATE}

label 1,2,3,4,5,6;

var

i,j,R,y : word;

sig,sigx,sigy,Pr : real;

i1,i2 : byte;

Nm,Ind : byte;

StS,StB,StC : string[4];

Vo,Vy,{Alf,D,Dd,}gamb,gamn,Snb,Snn,V1b,V1n,Sns : real;

Vc2,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2 : word;

Gr,Gr1: BPt;

Xn,Yn : Integer;

begin

PortsBmp := TBitMap.Create;

PortsBmp.Width:=800;

PortsBmp.Height:=600;

{PortsBmp.LoadFromFile('3201.BMP');}

CopyBmp := TBitMap.Create;

CopyBmp.Width:=800;

CopyBmp.Height:=600;

```

HoldBmp := TBitMap.Create;
HoldBmp.Width:=800;
HoldBmp.Height:=600;

```

```

MapBmp := TBitMap.Create;
MapBmp.Width:=800;
MapBmp.Height:=600;

```

```

Ports1Bmp := TBitMap.Create;
Ports1Bmp.Width:=800;
Ports1Bmp.Height:=600;

```

```

Copy1Bmp := TBitMap.Create;
Copy1Bmp.Width:=800;
Copy1Bmp.Height:=600;

```

```

{Image2.Visible:=False; }

```

```

Form1.Top:=0;
Form1.Left:=0;

```

```

IndOK:=1; {K1:=50; V1:=18; V2:=22; } IndVs1:=0; IndVs2:=0; OkVs1:=0;
OkVs2:=0; V1min:=5; V2min:=5; IndTimer:=0;

```

```

(*ColorRect(PortsBmp,Image3,0,0,705,465,RGB(230,255,255),0);

```

```

with Image3.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

Brush.Style:=bsClear;

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image3,25,30,275,280,RGB(255,255,255),0);
Font.Size:=8;
Brush.Style:=bsClear;

for i:=0 to 12 do
begin
Str(2*i,StS);
TextOut(5,273-20*i,StS);
end;
for i:=0 to 12 do
begin
Str(2*i,StS);
TextOut(20+20*i,290,StS);
end;
{TextOut(6,45,'25');}
for i:=1 to 24 do
ColorLine(PortsBmp,Image3,26,280-10*i,274,280-
10*i,RGB(180,180,180),1,0);
for i:=1 to 24 do

ColorLine(PortsBmp,Image3,25+10*i,31,25+10*i,279,RGB(180,180,180),1,0);
end;

ColorRect(PortsBmp,Image3,300,40,685,425,RGB(225,235,255),0);
ColorLine(PortsBmp,Image3,300,232,685,232,RGB(180,180,180),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image3,492,40,492,425,RGB(180,180,180),1,0);

Ports1Bmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
Image3.Canvas,Rect(25,30,275,280));

Copy1Bmp.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,705,465),
Image3.Canvas,Rect(0,0,705,465));

Image1.Visible:=False;

```

```
ColorRect(PortsBmp,Image1,0,0,657,497,RGB(240,250,250),0);
```

```
with Image1.Canvas do
```

```
begin
```

```
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
```

```
Font.Size:=10;
```

```
Font.Style:=[];
```

```
Brush.Style:=bsClear;
```

```
ColorRect(PortsBmp,Image1,25,30,275,280,RGB(255,255,255),0);
```

```
Font.Size:=8;
```

```
Brush.Style:=bsClear;
```

```
for i:=0 to 12 do
```

```
begin
```

```
Str(2*i,StS);
```

```
TextOut(5,273-20*i,StS);
```

```
end;
```

```
for i:=0 to 12 do
```

```
begin
```

```
Str(2*i,StS);
```

```
TextOut(20+20*i,290,StS);
```

```
end;
```

```
{TextOut(6,45,'25');}
```

```
for i:=1 to 24 do
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image1,26,280-10*i,274,280-10*i,RGB(180,180,180),1,0);
```

```
for i:=1 to 24 do
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image1,25+10*i,31,25+10*i,279,RGB(180,180,180),1,0);
```

```
ColorRect(PortsBmp,Image1,320,30,645,460,RGB(240,250,250),0);
```

```
for i:=0 to 10 do
```

```
begin
```

```
Str(50*i,StS);
```

```

    TextOut(288,460-43*i,StS);
    end;
for i:=0 to 12 do
    begin
        Str(25-2*i,StS);
        TextOut(315+26*i,472,StS);
        end;
    {TextOut(288,30,'1000');}
for i:=1 to 24 do

ColorLine(PortsBmp,Image1,320+13*i,31,320+13*i,459,RGB(180,180,180),1,0);
    for i:=1 to 10 do
        ColorLine(PortsBmp,Image1,321,460-43*i,644,460-
43*i,RGB(180,180,180),1,0);

    CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
    Image1.Canvas,Rect(309,25,650,470));

    PortsBmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
    Image1.Canvas,Rect(25,30,275,280));

    {Qa:=1325; Qp:=2690; Vyp:=7; Vo:=20; Vy:=2;

    taua:=Qa*(ArcTan(Vo/Vyp)-ArcTan(Vy/Vyp))/Vyp;

    taup:=Qp*(1/(Vy+0.1)-1/Vo);
    Vo:=21;}
    end;

Dd:=1; D:=3; Alf:=45; Kc1:=90; Kc2:=180; {!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}

    gamb:=Cour(Round(Alf-Arcsin(Dd/D)));
gamn:=Cour(Round(Alf+Arcsin(Dd/D)));
    Snb:=sin((Kc2-gamb)/57.3)/sin((Kc1-gamb)/57.3);
    Snn:=sin((Kc2-gamn)/57.3)/sin((Kc1-gamn)/57.3);

```

```
Sns:=sin((Kc2-Alf)/57.3)/sin((Kc1-Alf)/57.3);
```

```
with PortsBmp.Canvas do
```

```
begin
```

```
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
```

```
Font.Size:=10;
```

```
Font.Style:=[];
```

```
Brush.Style:=bsClear;
```

```
for Vc2:=1 to 25 do
```

```
begin
```

```
V1b:=Vc2*Snb; V1n:=Vc2*Snn;
```

```
Xs:=25+Round(Vc2*10); Ys:=580-Round(V1b*10);
```

```
if Vc2=5 then
```

```
begin
```

```
Gr[1].x:=Xs; Gr[1].y:=Ys;
```

```
end;
```

```
if Vc2=25 then
```

```
begin
```

```
Gr[2].x:=Xs; Gr[2].y:=Ys;
```

```
end;
```

```
{Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
```

```
Ellipse(Xs-2,Ys-2,Xs+2,Ys+2);}

```

```
Ys:=580-Round(V1n*10);
```

```
{Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,150));
```

```
Ellipse(Xs-2,Ys-2,Xs+2,Ys+2);}

```

```
if Vc2=5 then
```

```
begin
```

```
Gr[4].x:=Xs; Gr[4].y:=Ys;
```

```
end;
```

```
if Vc2=25 then
```

```

begin
  Gr[3].x:=Xs; Gr[3].y:=Ys;
end;
end;

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,210,200));
Pen.Color:=TColor(RGB(25,175,25));
Polygon(Gr);

Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=330; Gr1[2].x:=75; Gr1[2].y:=330;
Gr1[3].x:=75; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,200));
Pen.Color:=TColor(RGB(205,200,150));
Polygon(Gr1);

Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=530; Gr1[2].x:=275; Gr1[2].y:=530;
Gr1[3].x:=275; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Polygon(Gr1);

Pen.Mode:=pmCopy;

V1b:=5*Sns;
Xs1:=25+Round(5*10); Ys1:=580-Round(V1b*10);
V1n:=25*Sns;
Xs2:=25+Round(25*10); Ys2:=580-Round(V1n*10);

ColorLine(PortsBmp,Image1,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2,RGB(150,50,50),1,1);
end;

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
PortsBmp.Canvas,Rect(25,330,275,580));

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,320,185,360,RGB(255,255,205),
RGB(155,155,155),0);

```

```
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,195,320,270,360,RGB(255,255,205),
              RGB(155,155,155),0);
```

```
with Image1.Canvas do
```

```
begin
```

```
Font.Color:=TColor(RGB(20,70,20));
```

```
Font.Size:=10;
```

```
Str(V1,StB);
```

```
TextOut(130,330,'V1= '+StB);
```

```
Str(V2,StB);
```

```
TextOut(215,330,'V2= '+StB);
```

```
end;
```

```
Xs1:=25+Round(V2*10); Ys1:=280-Round(V1*10);
```

```
with Image1.Canvas do
```

```
begin
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(50,120,50));
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(150,220,150));
```

```
Ellipse(Xs1-5,Ys1-5,Xs1+5,Ys1+5);
```

```
end;
```

```
ColorLine(Image1,Xs1,30,Xs1,280,RGB(30,100,30),1,0);
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image1,25,Ys1,275,Ys1,RGB(30,100,30),1,0);
```

```
CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
```

```
Image1.Canvas,Rect(25,30,275,280)); *)
```

```
alf:=130; K1:=130; V1:=18{22}; V2:=22{18}; D:=3; Dd:=1.0;
```

```
K2:=315; alf3:=60; D3:=3; K3:=209; V3:=18; {!!! variant 1-3 !!!}
```

```
(*alf:=154; K1:=237; V1:=15; V2:=20{18}; D:=4; Dd:=1.0;
```

```
K2:=278; alf3:=15; D3:=3.5; K3:=181; V3:=19; {!!! variant 4-7 !!!}*)
```



```

IndCrt:=3; Ind3V:=1;

ColorRect(PortsBmp,Image1,0,4,672,512,RGB(255,255,255),0);

ColorRect(PortsBmp,Image1,120,20,588,488,RGB(240,240,255),0);

for i:=0 to 35 do

ColorLine(PortsBmp,Image1,121,20+13*i,587,20+13*i,RGB(210,210,210),1,0);
  for i:=0 to 35 do

ColorLine(PortsBmp,Image1,120+13*(i+1),20,120+13*(i+1),487,RGB(210,210,210)
,1,0);

  if IndCrt<4 then
    ColorLine(PortsBmp,Image1,354,0,354,487,RGB(120,20,20),1,0)
  else
    begin
      Xn:=Round(120+V1*13);
      ColorLine(PortsBmp,Image1,Xn,0,Xn,487,RGB(120,20,20),1,0);
    end;

    Yn:=Round(487-V2*13);

ColorLine(PortsBmp,Image1,120,Yn{137},587,Yn{371},RGB(20,20,120),1,0);

    {SBmp.Canvas.CopyRect(Rect(90,15,590,495),
Image1.Canvas,Rect(90,15,590,495));

    CargoBmp.Canvas.CopyRect(Rect(117,15,590,495),
Image1.Canvas,Rect(117,15,590,495));

    CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(130,30,515,80),
Image1.Canvas,Rect(130,30,515,80));}

```

```

{Disn:=D; alfn:=alf;}
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(195,15,15));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));

```

```

Xn:=Cour(Round(K1));

```

```

if IndCrt<4 then
begin
Str(Xn,StC);
TextOut(346,495,StC);
for i:=1 to 9 do
begin
Str(Cour(Xn+30*i),StC);
if Cour(Xn+30*i)=0 then
TextOut(352+26*i,495,StC)
else
TextOut(346+26*i,495,StC);
end;

```

```

for i:=1 to 9 do
begin
Str(Cour(Xn-30*i),StC);
if Cour(Xn-30*i)=0 then
TextOut(352-26*i,495,StC)
else
TextOut(346-26*i,495,StC);
end;

```

```

end
else
begin
for i:=0 to 18 do

```

```

begin
  Str(2*i,StC);
  TextOut(114+26*i,495,StC)
end;
end;

```

```

for i:=0 to 17 do

```

```

  begin
    Str(2*i,StC);
    TextOut(98,481-26*i,StC);
  end;

```

```

TextOut(98,481-26*18,'V2');
if IndCrt<4 then TextOut(600,495,'K1')
else TextOut(600,495,'V1');

```

```

Count:=0;
if IndCrt=1 then
  begin
    if V1>V2 then
      begin
        gam1:=Cour(Round(alf-arcsin(Dd/D)));
        gam2:=Cour(Round(alf+arcsin(Dd/D)));
        myu1:=sin((K2-gam1)/57.3)/V1; myu2:=sin((K2-gam2)/57.3)/V1;
        d1:=Round(arcsin(V2*sin((K2-gam1)/57.3)/V1));
        d2:=Round(arcsin(V2*sin((K2-gam2)/57.3)/V1));
        gam12:=gam1+arcsin(V2*sin((K2-gam1)/57.3)/V1);
        gam22:=gam2+arcsin(V2*sin((K2-gam2)/57.3)/V1);

        a1:=Round(gam1); a2:=a1+d1 {Round(gam12)};
        if a1>a2 then
          begin
            bgn:=a2; fin:=a1;
          end
        else

```

```

begin
bgn:=a1; fin:=a2;
end;

for i:=bgn to fin do
begin
Count:=Count+1;
V21t:=sin((i-gam1)/57.3)/myu1;
if V21t<0 then V21t:=0;
X21t:=354+Round(0.8667*(i-Xn));
Y21t:=487-Round(13*V21t);
{Ellipse(X21t-2,Y21t-2,X21t+2,Y21t+2);}
Gr0[Count].x:=X21t;
Gr0[Count].y:=Y21t;
end;

c1:=Round(gam2); c2:=c1+d2;
if c1>c2 then
begin
bgn:=c2; fin:=c1;
end
else
begin
bgn:=c1; fin:=c2;
end;

for i:=bgn to fin do
begin
Count:=Count+1;
V22t:=sin((i-gam2)/57.3)/myu2;
if V22t<0 then V22t:=0;
X21t:=354+Round(0.8667*(i-Xn));
Y21t:=487-Round(13*V22t);
{Ellipse(X21t-2,Y21t-2,X21t+2,Y21t+2);}
Gr0[Count].x:=X21t;
Gr0[Count].y:=Y21t;

```

```

    end;
  end
else
  begin
    Pen.Color:=TColor(RGB(15,15,215));

    gam1:=Cour(Round(alf-arcsin(Dd/D)));
    gam2:=Cour(Round(alf+arcsin(Dd/D)));
    myu1:=sin((K2-gam1)/57.3)/V1; myu2:=sin((K2-gam2)/57.3)/V1;
    d1:=Round(arcsin(V2*sin((K2-gam1)/57.3)/V1));
    d2:=Round(arcsin(V2*sin((K2-gam2)/57.3)/V1));
    gam12:=gam1+arcsin(V2*sin((K2-gam1)/57.3)/V1);
    gam22:=gam2+arcsin(V2*sin((K2-gam2)/57.3)/V1);

    V2m1:=V1/Abs(sin((K2-gam1)/57.3));          V2m2:=V1/Abs(sin((K2-
gam2)/57.3));

    a1:=Round(gam1);
    if a1>90 then a2:=a1-90
    else a2:=a1+90;
    if a1>a2 then
      begin
        bgn:=a2; fin:=a1;
      end
    else
      begin
        bgn:=a1; fin:=a2;
      end;
    end;

    for i:=bgn to fin do
      begin

        V21t:=Abs(sin((i-gam1)/57.3)/myu1);
        if V21t<0 then V21t:=0;
        if V21t<V2 then
          begin

```

```

Count:=Count+1;
X21t:=354+Round(0.8667*(i-Xn));
Y21t:=487-Round(13*V21t);
{Ellipse(X21t-2,Y21t-2,X21t+2,Y21t+2);}
Gr0[Count].x:=X21t;
Gr0[Count].y:=Y21t;
end;
end;

```

```

c1:=Round(gam2); c2:=c1+90;
if c1>c2 then
begin
bgn:=c2; fin:=c1;
end
else
begin
bgn:=c1; fin:=c2;
end;

```

```

for i:=bgn to fin do
begin

```

```

V22t:=Abs(sin((i-gam2)/57.3)/myu2);
if V22t<0 then V22t:=0;
if V22t<V2 then
begin
Count:=Count+1;
X21t:=354+Round(0.8667*(i-Xn));
Y21t:=487-Round(13*V22t);
{Ellipse(X21t-2,Y21t-2,X21t+2,Y21t+2);}
Gr0[Count].x:=X21t;
Gr0[Count].y:=Y21t;
end;

```

```

end;
gam1:=gam1;

```

```

    end;
end;

for i:=Count+1 to 360 do Gr0[i]:=Gr0[Count];
Pen.Mode:=pmMask;
if V1>V2 then
begin
Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,215));
Pen.Color:=TColor(RGB(195,155,155));
end
else
begin
Brush.Color:=TColor(RGB(215,245,255));
Pen.Color:=TColor(RGB(105,155,255));
end;
Polygon(Gr0);
Pen.Mode:=pmCopy;
end;
{SBmp.Canvas.CopyRect(Rect(90,15,590,495),
Image1.Canvas,Rect(90,15,590,495));}

{K1y:=K1;}
X1:=0; Y1:=0; X2:=D*sin(alf/57.3); Y2:=D*cos(alf/57.3);
if Ind3V=1 then
begin
X3:=D3*sin(alf3/57.3); Y3:=D3*cos(alf3/57.3);
end;

M:=22100000;
myu:=8215;
Pm:=517328;

```

(* Блок розрахунку необхідного гальмування, пасивного та активного*)

```
{!!!! A C T I V   !!!!!}
```

```
if IndCrt=2 then
```

```
begin
```

```
{ColorRect(PortsBmp,Image1,20,204,85,244,RGB(255,255,255),0);
```

```
ColorRect(PortsBmp,Image1,20,264,85,304,RGB(255,255,255),0);}
```

```
KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);
```

```
Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));
```

```
Xn1:=Round(K1);
```

```
Kn1:=Cour(K1-90);
```

```
with Image1.Canvas do
```

```
begin
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(235,245,255));
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(15,125,155));
```

```
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
```

```
Font.Size:=10;
```

```
Font.Style:=[];
```

```
for i:=1 to 181 do
```

```
begin
```

```
Kn:=Cour(Kn1+i-1);
```

```
V2y:=V2; Ind1:=0;
```

```
repeat
```

```
V2y:=V2y-0.2;
```

```
if V2y<=0 then
```

```
{if V2y>0 then V2y:=V2y-0.2
```

```
else}
```



```

begin
V2y:=0;
{Grtr[i].x:=354+Round(0.8667*arcsin(sin((Kn-Xn1)/57.3)));
Grtr[i].y:=487;}
goto 1;
end;

```

```

taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2y)));

```

```

Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V2)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V2y)+Pm/myu));
Sa:=Sa/1852;

```

```

Xvsv:=X2+Sa*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sa*cos(K2/57.3);
Xtv:=X1+V1*(taua/3600)*sin(Kn/57.3);
Ytv:=Y1+V1*(taua/3600)*cos(Kn/57.3);

```

```

KotVot(Kn,K2,V1,V2y,Kotva,Votv);

```

```

Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
if Dva<=Dd then
begin
V2y:=0;
goto 1;
end;
alfva:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
Dmina:=Abs(Dva*sin((alfva-Kotva)/57.3));
until Dmina>=Dd;

```

```

1:   Grtr[i].x:=354+Round(0.8667*arcsin(sin((Kn-Xn1)/57.3)));
    if (V2y>0) then
    begin
      Grtr[i].y:=487-Round(13*V2y);
    end;

```

```

    {Ellipse(Grtr[i].x-2,Grtr[i].y-2,Grtr[i].x+2,Grtr[i].y+2);}
  end
else Grtr[i].y:=487;
gam1:=gam1;
end;

Pen.Mode:=pmMask;
Brush.Color:=TColor(RGB(205,225,235));
Pen.Color:=TColor(RGB({205,225,235}115,115,165));
Polygon(Grtr);
Pen.Mode:=pmCopy;
gam2:=gam2;
end;
end;

{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}

{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! P A S S I V  !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}

if IndCrt=3 then
begin
  KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);

  Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));

  Xn1:=Round(K1);
  Kn1:=Cour(K1-90);

  with Image1.Canvas do
  begin
    Brush.Color:=TColor(RGB(235,245,255));
    Pen.Color:=TColor(RGB(15,125,15));
    Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
    Font.Size:=10;
    Font.Style:=[];

```

```

for i:=1 to 181 do
  begin
    Kn:=Cour(Kn1+i-1);

    V2y:=V2;

    repeat
      if V2y>0 then V2y:=V2y-0.2
      else
        begin
          V2y:=0;
          Grtr1[i].x:=354+Round(0.8667*arcsin(sin((Kn-Xn1)/57.3)));
          Grtr1[i].y:=487;
          goto 2;
        end;

    taup:=1.1*M*(V2/V2y-1)/(0.514*V2*myu);
    Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V2/V2y))/(2*myu);
    Sp:=Sp/1852;

    Xvsv:=X2+Sp*sin(K2/57.3);
    Yvsv:=Y2+Sp*cos(K2/57.3);
    Xtv:=X1+V1*(taup/3600)*sin(Kn/57.3);
    Ytv:=Y1+V1*(taup/3600)*cos(Kn/57.3);

    KotVot(Kn,K2,V1,V2y,Kotvp,Votv);

    Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
    if Dvp<Dd then
      begin
        V2y:=0; goto 2;
      end;

    alfv:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);

```

```
Dminp:=Abs(Dvp*sin((alfvp-Kotvp)/57.3));
until Dminp>=Dd;
```

```
2:   Grtr1[i].x:=354+Round(0.8667*arcsin(sin((Kn-Xn1)/57.3)));
    if (V2y>0) then
      begin
        Grtr1[i].y:=487-Round(13*V2y);
        Ellipse(Grtr1[i].x-2,Grtr1[i].y-2,Grtr1[i].x+2,Grtr1[i].y+2);
      end
    else Grtr1[i].y:=487;
    gam1:=gam1;
  end;
```

```
Pen.Mode:=pmMask;
Brush.Color:=TColor(RGB(205,255,205));
Pen.Color:=TColor(RGB(205,255,205{115,165,115}));
Polygon(Grtr1);
Pen.Mode:=pmCopy;
gam2:=gam2;
end;
end;
```

```
{!!!!!!!!!!!!!!!! V1,  V2 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! }
```

```
{!!!! P A S S I V  !!!!!}
```

```
if IndCrt=4 then
  begin
    Ind3V:=0;
    KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);

    Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));
```

```
with Image1.Canvas do
  begin
```

```

Brush.Color:=TColor(RGB(235,245,255));
Pen.Color:=TColor(RGB(15,125,15));
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

```

```

Nv1:=Round((V1-4)/0.2); {V1y:=V1;}

```

```

for i:=1 to {180} Nv1 do

```

```

begin

```

```

{V1y:=V1y-0.2;}

```

```

V1y:=V1-0.2*i;

```

```

taup:=1.1*M*(V1/V1y-1)/(0.514*V1*myu);

```

```

Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V1/V1y))/(2*myu);

```

```

Sp:=Sp/1852;

```

```

{Xtv:=X1+Sp*sin(K1/57.3);

```

```

Ytv:=Y1+Sp*cos(K1/57.3);}

```

```

V2y:=V2;

```

```

repeat

```

```

if V2y>0 then V2y:=V2y-0.2

```

```

else

```

```

begin

```

```

V2y:=0;

```

```

Grtr1[i].x:=120+Round(13*V1y);

```

```

Grtr1[i].y:=487;

```

```

goto 3;

```

```

end;

```

```

taup2:=1.1*M*(V2/V2y-1)/(0.514*V2*myu);

```

```

Sp2:=1.1*M*ln(Sqr(V2/V2y))/(2*myu);

```

```

Sp2:=Sp2/1852;

```

```
{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}
```

```
if taup>taup2 then
```

```
begin
```

```
Xtv:=X1+Sp*sin(K1/57.3);
```

```
Ytv:=Y1+Sp*cos(K1/57.3);
```

```
Xvsv:=X2+(Sp2+V2y*(taup-taup2)/3600)*sin(K2/57.3);
```

```
Yvsv:=Y2+(Sp2+V2y*(taup-taup2)/3600)*cos(K2/57.3);
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Xtv:=X1+(Sp+V1y*(taup2-taup)/3600)*sin(K1/57.3);
```

```
Ytv:=Y1+(Sp+V1y*(taup2-taup)/3600)*cos(K1/57.3);
```

```
Xvsv:=X2+Sp2*sin(K2/57.3);
```

```
Yvsv:=Y2+Sp2*cos(K2/57.3);
```

```
end;
```

```
{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}
```

```
{Xvsv:=X2+Sp2*sin(K2/57.3);
```

```
Yvsv:=Y2+Sp2*cos(K2/57.3);}
```

```
KotVot(K1,K2,V1y,V2y,Kotvp,Votv);
```

```
Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
```

```
if Dvp<Dd then
```

```
begin
```

```
V2y:=0; goto 3;
```

```
end;
```

```
alfvp:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
```

```
Dminp:=Abs(Dvp*sin((alfvp-Kotvp)/57.3));
```

```
until Dminp>=Dd;
```

```
if (Dminp>Dd) and (Dminp<1.2*Dd) then
```

```

begin
3:   Count:=Count+1;
      Grtr1[Count].x:=120+Round(13*V1y);
      if (V2y>0) then
        Grtr1[Count].y:=487-Round(13*V2y)
      else Grtr1[Count].y:=487;

      if V2y>0 then
        begin
          Brush.Color:=TColor(RGB(100,200,250));
          Pen.Color:=TColor(RGB(75,75,125));
          if Ind3V=1 then
            begin
              Xv3:=X3+V3*(taup/3600)*sin(K3/57.3);
              Yv3:=Y3+V3*(taup/3600)*cos(K3/57.3);
              Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
              alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
              KotVot(K1,K3,V1y,V3,Kot,Vot);
              Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

              Xv3:=X3+V3*(taup2/3600)*sin(K3/57.3);
              Yv3:=Y3+V3*(taup2/3600)*cos(K3/57.3);
              Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
              alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
              KotVot(K2,K3,V2y,V3,Kot,Vot);
              Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
              Lm:=Lm;
              if (Dm13>Dd) and (Dm23>Dd) then
                begin
                  Brush.Color:=TColor(RGB(100,250,100));
                  Pen.Color:=TColor(RGB(75,125,75));
                end
              else
                begin
                  Brush.Color:=TColor(RGB(255,105,105));
                  Pen.Color:=TColor(RGB(155,75,75));
                end
            end
          end
        end
      end

```

```

    end;
    Ellipse(Grtr1[Count].x-2,Grtr1[Count].y-2,
            Grtr1[Count].x+2,Grtr1[Count].y+2);
    end
    else Ellipse(Grtr1[Count].x-2,Grtr1[Count].y-2,
            Grtr1[Count].x+2,Grtr1[Count].y+2);
    end;
    end;
    gam1:=gam1;
    end;

```

```

Grtr1[Count+1].x:=120+Round(13*V1);;
Grtr1[Count+1].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
for i:=Count+1 to 180 do Grtr1[i]:=Grtr1[Count+1];

```

```

Pen.Mode:=pmMask;
Brush.Color:=TColor(RGB(205,255,205));
Pen.Color:=TColor(RGB(205,255,205{115,165,115}));
Polygon(Grtr1);
Pen.Mode:=pmCopy;
gam2:=gam2;
end;
end;

```

```
{!!!! A C T I V  !!!!!!!}
```

```
if IndCrt=5 then
```

```

    begin
    KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);

```

```

    Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));

```

```
with Image1.Canvas do
```

```

    begin
    Brush.Color:=TColor(RGB(235,245,255));
    Pen.Color:=TColor(RGB(15,125,15));

```



```
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
```

```
{Nv1:=Round(V1/0.2);}
Nv1:=Round((V1-4)/0.2);
```

```
for i:=1 to Nv1 do
```

```
begin
```

```
{V1y:=0.2*i;}
```

```
V1y:=V1-0.2*i;
```

```
taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1y)));
```

```
Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V1)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V1y)+Pm/myu));
Sa:=Sa/1852;
```

```
{Xtv:=X1+Sa*sin(K1/57.3);
```

```
Ytv:=Y1+Sa*cos(K1/57.3);}
```

```
V2y:=V2;
```

```
repeat
```

```
if V2y>0 then V2y:=V2y-0.2
```

```
else
```

```
begin
```

```
Grtr1[i].x:=120+Round(13*V1y);
```

```
Grtr1[i].y:=487;
```

```
goto 4;
```

```
end;
```

```
taua2:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2y)));
```

```
Sa2:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V2)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V2y)+Pm/myu));
Sa2:=Sa2/1852;
```

```
{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}
```

```
if taua>taua2 then
```

```
begin
```

```
Xtv:=X1+Sa*sin(K1/57.3);
```

```
Ytv:=Y1+Sa*cos(K1/57.3);
```

```
Xvsv:=X2+(Sa2+V2y*(taua-taua2)/3600)*sin(K2/57.3);
```

```
Yvsv:=Y2+(Sa2+V2y*(taua-taua2)/3600)*cos(K2/57.3);
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Xtv:=X1+(Sa+V1y*(taua2-taua)/3600)*sin(K1/57.3);
```

```
Ytv:=Y1+(Sa+V1y*(taua2-taua)/3600)*cos(K1/57.3);
```

```
Xvsv:=X2+Sa2*sin(K2/57.3);
```

```
Yvsv:=Y2+Sa2*cos(K2/57.3);
```

```
end;
```

```
{!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}
```

```
{Xvsv:=X2+Sa*sin(K2/57.3);
```

```
Yvsv:=Y2+Sa*cos(K2/57.3);}
```

```
KotVot(K1,K2,V1y,V2y,Kotvp,Votv);
```

```
Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
```

```
if Dva<Dd then
```

```
begin
```

```
V2y:=0; goto 4;
```

```
end;
```

```
alfva:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
```

```
Dmina:=Abs(Dva*sin((alfva-Kotvp)/57.3));
```

```
until Dmina>=Dd;
```

```
4: if (Dmina>Dd) and (Dmina<1.1*Dd) then
```

```

begin
Count:=Count+1;
Grtr1[Count].x:=120+Round(13*V1y);
if (V2y>0) then
Grtr1[Count].y:=487-Round(13*V2y)
else Grtr1[Count].y:=487;

Pen.Color:=TColor(RGB(105,125,195));
if V2y>0 then
begin
Brush.Color:=TColor(RGB(100,200,250));
Pen.Color:=TColor(RGB(75,75,125));
if Ind3V=1 then
begin
Xv3:=X3+V3*(taua/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taua/3600)*cos(K3/57.3);
Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
KotVot(K1,K3,V1y,V3,Kot,Vot);
Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

Xv3:=X3+V3*(taua2/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taua2/3600)*cos(K3/57.3);
Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
KotVot(K2,K3,V2y,V3,Kot,Vot);
Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
Lm:=Lm;
if (Dm13>Dd) and (Dm23>Dd) then
begin
Brush.Color:=TColor(RGB(100,250,100));
Pen.Color:=TColor(RGB(75,125,75));
end
else
begin
Brush.Color:=TColor(RGB(255,105,105));

```

```

    Pen.Color:=TColor(RGB(155,75,75));
    end;
    Ellipse(Grtr1[Count].x-2,Grtr1[Count].y-2,
        Grtr1[Count].x+2,Grtr1[Count].y+2);
    end
else Ellipse(Grtr1[Count].x-2,Grtr1[Count].y-2,
    Grtr1[Count].x+2,Grtr1[Count].y+2);

    end;
end;
gam1:=gam1;
V1k:=V1y;
end;

Grtr1[Count+1].x:=120+Round(13*V1);;
Grtr1[Count+1].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
for i:=Count+1 to 180 do Grtr1[i]:=Grtr1[Count+1];

{Grtr1[Count+1].x:=120+Round(V1k*13);
Grtr1[Count+1].y:=487;
Grtr1[Count+2].x:=120+Round(36*13);
Grtr1[Count+2].y:=487;
Grtr1[Count+3].x:=120+Round(36*13);
Grtr1[Count+3].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
Grtr1[Count+4].x:=120;
Grtr1[Count+4].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
for i:=Count+5 to 180 do Grtr1[i]:=Grtr1[Count+4]; }

Pen.Mode:=pmMask;
Brush.Color:=TColor(RGB(205,255,255));
Pen.Color:=TColor(RGB(205,255,255{115,165,195}));
Polygon(Grtr1);
Pen.Mode:=pmCopy;
gam2:=gam2;
end;
end;
```

(* Блок розрахунку сумісного маневру *)

{!!!! A C T I V & P A S S I V !!!!!!!}

if IndCrt=6 then

begin

KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);

Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));

with Image1.Canvas do

begin

Brush.Color:=TColor(RGB(235,245,255));

Pen.Color:=TColor(RGB(15,125,15));

Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));

Font.Size:=10;

Font.Style:=[];

{Nv1:=Round(V1/0.2);}

Nv1:=Round((V1-4)/0.2);

for i:=1 to Nv1 do

begin

{V1y:=0.2*i;}

V1y:=V1-0.2*i;

taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1y)));

Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V1)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V1y)+Pm/myu));

Sa:=Sa/1852;

{Xtv:=X1+Sa*sin(K1/57.3);

Ytv:=Y1+Sa*cos(K1/57.3);}

V2y:=V2;

```

repeat
if V2y>0 then V2y:=V2y-0.2
else
begin
Grtr1[i].x:=120+Round(13*V1y);
Grtr1[i].y:=487;
goto 5;
end;

taup:=1.1*M*(V2/V2y-1)/(0.514*V2*myu);
Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V2/V2y))/(2*myu);
Sp:=Sp/1852;

{Xvsv:=X2+Sp*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sp*cos(K2/57.3);}

if taua>taup then
begin
Xtv:=X1+Sa*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+Sa*cos(K1/57.3);
Xvsv:=X2+(Sp+V2y*(taua-taup)/3600)*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+(Sp+V2y*(taua-taup)/3600)*cos(K2/57.3);
end
else
begin
Xtv:=X1+(Sa+V1y*(taup-taua)/3600)*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+(Sa+V1y*(taup-taua)/3600)*cos(K1/57.3);
Xvsv:=X2+Sp*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sp*cos(K2/57.3);
end;

KotVot(K1,K2,V1y,V2y,Kotvp,Votv);

Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
if Dva<Dd then
begin

```

```
V2y:=0; goto 5;
end;
```

```
alfva:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
Dmina:=Abs(Dva*sin((alfva-Kotvp)/57.3));
until Dmina>=Dd;
```

```
5:  if (Dmina>Dd) and (Dmina<1.1*Dd) then
      begin
        Count:=Count+1;
        Grtr1[Count].x:=120+Round(13*V1y);
        if (V2y>0) then
          Grtr1[Count].y:=487-Round(13*V2y)
        else Grtr1[Count].y:=487;
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(155,105,75));
if V2y>0 then
  begin
    Brush.Color:=TColor(RGB(100,200,250));
    Pen.Color:=TColor(RGB(75,75,125));
    if Ind3V=1 then
      begin
        Xv3:=X3+V3*(taua/3600)*sin(K3/57.3);
        Yv3:=Y3+V3*(taua/3600)*cos(K3/57.3);
        Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
        alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
        KotVot(K1,K3,V1y,V3,Kot,Vot);
        Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));
```

```
Xv3:=X3+V3*(taup/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taup/3600)*cos(K3/57.3);
Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
KotVot(K2,K3,V2y,V3,Kot,Vot);
Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
Lm:=Lm;
```

```

if (Dm13>Dd) and (Dm23>Dd) then
  begin
    Brush.Color:=TColor(RGB(100,250,100));
    Pen.Color:=TColor(RGB(75,125,75));
  end
else
  begin
    Brush.Color:=TColor(RGB(255,105,105));
    Pen.Color:=TColor(RGB(155,75,75));
  end;
Ellipse(Grtr1[Count].x-2,Grtr1[Count].y-2,
  Grtr1[Count].x+2,Grtr1[Count].y+2);
end
else
Ellipse(Grtr1[Count].x-2,Grtr1[Count].y-2,
  Grtr1[Count].x+2,Grtr1[Count].y+2);
end;
end;
gam1:=gam1;
V1k:=V1y;
end;

Grtr1[Count+1].x:=120+Round(13*V1);;
Grtr1[Count+1].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
for i:=Count+1 to 180 do Grtr1[i]:=Grtr1[Count+1];

{Grtr1[Count+1].x:=120+Round(V1k*13);
Grtr1[Count+1].y:=487;
Grtr1[Count+2].x:=120+Round(36*13);
Grtr1[Count+2].y:=487;
Grtr1[Count+3].x:=120+Round(36*13);
Grtr1[Count+3].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
Grtr1[Count+4].x:=120;
Grtr1[Count+4].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
for i:=Count+5 to 180 do Grtr1[i]:=Grtr1[Count+4]; }

```



```

Pen.Mode:=pmMask;
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,205));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,255,205{115,165,195}));
Polygon(Grtr1);
Pen.Mode:=pmCopy;
gam2:=gam2;
end;
end;

{!!!! P A S S I V & A C T I V      !!!!!!!}

if IndCrt=7 then
begin
KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);

Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));

with Image1.Canvas do
begin
Brush.Color:=TColor(RGB(235,245,255));
Pen.Color:=TColor(RGB(15,125,15));
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

{Nv1:=Round(V1/0.2);}

Nv1:=Round((V1-4)/0.2);

for i:=1 to Nv1 do
begin
{V1y:=0.2*i;}
V1y:=V1-0.2*i;
taup:=1.1*M*(V1/V1y-1)/(0.514*V1*myu);
Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V1/V1y))/(2*myu);
Sp:=Sp/1852;

```

```
{Xtv:=X1+Sp*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+Sp*cos(K1/57.3);}
```

```
V2y:=V2;
```

```
repeat
```

```
if V2y>0 then V2y:=V2y-0.2
```

```
else
```

```
begin
```

```
Grtr1[i].x:=120+Round(13*V1y);
```

```
Grtr1[i].y:=487;
```

```
goto 6;
```

```
end;
```

```
taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2y)));
```

```
Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V2)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V2y)+Pm/myu));
Sa:=Sa/1852;
```

```
{Xvsv:=X2+Sa*sin(K2/57.3);
```

```
Yvsv:=Y2+Sa*cos(K2/57.3);}
```

```
if taup>taua then
```

```
begin
```

```
Xtv:=X1+Sp*sin(K1/57.3);
```

```
Ytv:=Y1+Sp*cos(K1/57.3);
```

```
Xvsv:=X2+(Sa+V2y*(taup-taue)/3600)*sin(K2/57.3);
```

```
Yvsv:=Y2+(Sa+V2y*(taup-taue)/3600)*cos(K2/57.3);
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Xtv:=X1+(Sp+V1y*(taue-taup)/3600)*sin(K1/57.3);
```

```
Ytv:=Y1+(Sp+V1y*(taue-taup)/3600)*cos(K1/57.3);
```

```
Xvsv:=X2+Sa*sin(K2/57.3);
```

```

Yvsv:=Y2+Sa*cos(K2/57.3);
end;

```

```

KotVot(K1,K2,V1y,V2y,Kotvp,Votv);

```

```

Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
if Dva<Dd then
  begin
    V2y:=0; goto 6;
  end;

```

```

alfva:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
Dmina:=Abs(Dva*sin((alfva-Kotvp)/57.3));
until Dmina>=Dd;

```

```

6:  if (Dmina>Dd) and (Dmina<1.1*Dd) then
    begin
      Count:=Count+1;
      Grtr1[Count].x:=120+Round(13*V1y);;
      if (V2y>0) then
        Grtr1[Count].y:=487-Round(13*V2y)
      else Grtr1[Count].y:=487;

```

```

Pen.Color:=TColor(RGB(155,105,75));
if V2y>0 then
  begin
    Brush.Color:=TColor(RGB(100,200,250));
    Pen.Color:=TColor(RGB(75,75,125));
    if Ind3V=1 then
      begin
        Xv3:=X3+V3*(taup/3600)*sin(K3/57.3);
        Yv3:=Y3+V3*(taup/3600)*cos(K3/57.3);
        Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
        alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
        KotVot(K1,K3,V1y,V3,Kot,Vot);
        Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

```

```

Xv3:=X3+V3*(taua/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taua/3600)*cos(K3/57.3);
Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
KotVot(K2,K3,V2y,V3,Kot,Vot);
Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
Lm:=Lm;
if (Dm13>Dd) and (Dm23>Dd) then
  begin
    Brush.Color:=TColor(RGB(100,250,100));
    Pen.Color:=TColor(RGB(75,125,75));
  end
else
  begin
    Brush.Color:=TColor(RGB(255,105,105));
    Pen.Color:=TColor(RGB(155,75,75));
  end;

  Ellipse(Grtr1[Count].x-2,Grtr1[Count].y-2,
    Grtr1[Count].x+2,Grtr1[Count].y+2);
end
else
  Ellipse(Grtr1[Count].x-2,Grtr1[Count].y-2,
    Grtr1[Count].x+2,Grtr1[Count].y+2);
end;
end;
gam1:=gam1;
V1k:=V1y;
end;

Grtr1[Count+1].x:=120+Round(13*V1);;
Grtr1[Count+1].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
for i:=Count+1 to 180 do Grtr1[i]:=Grtr1[Count+1];

{Grtr1[Count+1].x:=120+Round(V1k*13);

```

```

Grtr1[Count+1].y:=487;
Grtr1[Count+2].x:=120+Round(36*13);
Grtr1[Count+2].y:=487;
Grtr1[Count+3].x:=120+Round(36*13);
Grtr1[Count+3].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
Grtr1[Count+4].x:=120;
Grtr1[Count+4].y:=487-Round(13*(V2-0.2));
for i:=Count+5 to 180 do Grtr1[i]:=Grtr1[Count+4]; }

```

```

Pen.Mode:=pmMask;
Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,215));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,225,215{115,165,195}));
Polygon(Grtr1);
Pen.Mode:=pmCopy;
gam2:=gam2;
end;
end;

```

```

CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(120,20,585,488),
Image1.Canvas,Rect(120,20,585,488));

```

```

(*V1yp:=0; InS:=1;
V1y:=V1;
repeat
V1y:=V1y-0.2;
if V1y<0 then
begin
V1y:=0; InS:=0;
4:      Panel23.Caption:='МАНЕВР    РАСХОЖДЕНИЯ    НЕВОЗМОЖЕН
ДАНЫМ КУРСОМ';
IndGrn:=2;
goto 2;
end;

taup:=1.1*M*(V1/V1y-1)/(0.514*V1*myu);
Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V1/V1y))/(2*myu);

```

Sp:=Sp/1852;

Xvsv:=Xvst+Sp*sin(K1/57.3);

Yvsv:=Yvst+Sp*cos(K1/57.3);

Xtv:=Xtt+V2*(taup/3600)*sin(K2/57.3);

Ytv:=Ytt+V2*(taup/3600)*cos(K2/57.3);

KotVot(K1,K2,V1y,V2,Kotvp,Votv);

Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);

if Dvp<=Dd then goto 4;

alfvp:=Pelg(Xtv-Xvsv,Ytv-Yvsv);

Dminp:=Abs(Dvp*sin((alfvp-Kotvp)/57.3));

until Dminp>=Dd;

V1yp:=V1y;

if V1y>=0 then

begin

StF:=FloatToStr(V1y);

Panel23.Caption:='МАНЕВР РАСХОЖДЕНИЯ ВОЗМОЖЕН С Vy= '+StF;

Vy:=V1y;

goto 2;

end;

2:Xn1:=Round(K1);

Kn1:=Cour(K1-90);

for i:=1 to 181 do

begin

Kn:=Cour(Kn1+i-1);

V1y:=V1;

repeat

V1y:=V1y-0.2;

if V1y<0 then

```

begin
V1y:=0;
goto 1;
end;

taup:=1.1*M*(V1/V1y-1)/(0.514*V1*myu);
Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V1/V1y))/(2*myu);
Sp:=Sp/1852;

Xvsv:=Xvst+Sp*sin(Kn/57.3);
Yvsv:=Yvst+Sp*cos(Kn/57.3);
Xtv:=Xtt+V2*(taup/3600)*sin(K2/57.3);
Ytv:=Ytt+V2*(taup/3600)*cos(K2/57.3);

KotVot(Kn,K2,V1y,V2,Kotvp,Votv);

Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
if Dvp<Dd then
begin
V1y:=0; IndGrn:=2;
goto 1;
end;

alfvp:=Pelg(Xtv-Xvsv,Ytv-Yvsv);
Dminp:=Abs(Dvp*sin((alfvp-Kotvp)/57.3));
{Cs:=cos((alfvp-Kotvp)/57.3);
if Cs<0 then
begin
IndManvp:=0;
goto 1;
end;}
until Dminp>=Dd;

1: if (V1y>0) then
Grf[i].x:=120+Round(V1y*13)

```

```

else Grf[i].x:=120;
Grf[i].y:=254-Round(0.8667*arcsin(sin((Kn-Xn1)/57.3)));
end;

```

```

Regim:=3;
with Image1.Canvas do
begin
Brush.Color:=TColor(RGB(15,125,15));
Pen.Color:=TColor(RGB(15,125,15));
{if IndGrm=2 then} Polyline(Grf)
{else
begin
Pen.Mode:=pmMask;
Brush.Color:=TColor(RGB(205,255,205));
Pen.Color:=TColor(RGB(115,165,115));
Polygon(Grf);
Pen.Mode:=pmCopy;
end};

```

```

VBmp.Canvas.CopyRect(Rect(80,10,600,509),
Image1.Canvas,Rect(80,10,600,509));

```

```

{Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Brush.Style:=bsClear;

```

```

if InS=0 then

```

```

TextOut(135,35,'МАНЕВР          ПАССИВНЫМ          ТОРМОЖЕНИЕМ
НЕВОЗМОЖЕН');

```

```

if IndManp=0 then

```

```

begin
StC:=FloatToStr(Dnp);
StF:=FloatToStr(V1p);

```



```

        TextOut(135,35,'МАНЕВР      ПАССИВНЫМ      ТОРМОЖЕНИЕМ
НЕВОЗМОЖЕН');

```

```

        TextOut(135,55,'МАКСИМАЛЬНАЯ Dmin='+StC+'      ПРИ СКОРОСТИ
V='+StF);

```

```

        end;

```

```

    if (V1yp>0) and (IndManp=1) then

```

```

        begin

```

```

            StF:=FloatToStr(V1yp);

```

```

            TextOut(135,35,'МАНЕВР ВОЗМОЖЕН ПРИ СКОРОСТИ Vp='+StF);

```

```

        end;

```

```

    end;

```

```

end;

```

```

procedure TForm1.FormDestroy(Sender: TObject);

```

```

begin

```

```

    PortsBmp.Free;

```

```

    CopyBmp.Free;

```

```

    HoldBmp.Free;

```

```

    MapBmp.Free;

```

```

    Ports1Bmp.Free;

```

```

    Copy1Bmp.Free;

```

```

end;

```

```

procedure TForm1.Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);

```

```

var

```

```

    Str1 : string[5];

```

```

begin
with Image1.Canvas do
begin
ColorRect(PortsBmp,Image1,10+7,7,10+35,25,RGB(230,240,250),0);
Str(X,Str1);
TextOut(10+10,10,Str1);
ColorRect(PortsBmp,Image1,10+40,7,10+68,25,
RGB(230,240,250),0);
Str(Y,Str1);
TextOut(10+43,10,Str1);
end;
Xcn:=X; Ycn:=Y;
end;

```

```

procedure TForm1.ButtonOKClick(Sender: TObject);
label 1,2,3;
var
StS,StA : string[4];
StF : string[10];
StC : string[5];
StD : string[6];
i,Nm,Ind : byte;
j,del1,del2,Xp,Yp :word;
V1p,V2p : real;

```

```

begin
ButtonOK.Enabled:=False;

```

```

if IndOK=1 then
begin
Button7.Enabled:=False;
Button14.Enabled:=False;
Button1.Enabled:=False;
Button2.Enabled:=False;

```

```
{Button3.Enabled:=True;
Button13.Enabled:=True;}
```

```
Qa:=1325; Qp:=2690; Vyp:=7;
```

```
{taua:=Qa*(ArcTan(Vo/Vyp)-ArcTan(Vy/Vyp))/Vyp;
```

```
taup:=Qp*(1/(Vy+0.1)-1/Vo);}
```

```
if IndVs1=0 then tau1:=0;
```

```
if IndVs1=1 then
```

```
begin
```

```
dell:=Round((V1-V1min)*10);
```

```
for j:=0 to dell do
```

```
begin
```

```
V1p:=V1-0.1*j;
```

```
taua:=Qa*(ArcTan(V1/Vyp)-ArcTan(V1p/Vyp))/Vyp;
```

```
Xp:=320+Round(13*(25-V1p)); Yp:=460-Round(0.86*taua);
```

```
with Image1.Canvas do
```

```
begin
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
```

```
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
taua:=Qa*(ArcTan(V1/Vyp)-ArcTan(V1y/Vyp))/Vyp; tau1:=taua;
```

```
Sa:=(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V1)+Sqr(Vyp))/(Sqr(V1y)+Sqr(Vyp)))/2;
```

```
S1:=Sa;
```

```
end;
```

```
if IndVs1=2 then
```

```
begin
```

```
dell:=Round((V1-V1min)*10);
```

```
for j:=0 to dell do
```

```

begin
V1p:=V1-0.1*j;
taup:=Qp*(1/(V1p+0.1)-1/V1);
Xp:=320+Round(13*(25-V1p)); Yp:=460-Round(0.86*taup);
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;

taup:=Qp*(1/(V1y+0.1)-1/V1); tau1:=taup;
Sp:=(0.0027754*Qp)*ln(V1/(V1y+0.1));
S1:=Sp;
end;

if IndVs2=0 then tau2:=0;
if IndVs2=1 then
begin
del1:=Round((V2-V2min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin
V2p:=V2-0.1*j;
taua:=Qa*(ArcTan(V2/Vyp)-ArcTan(V2p/Vyp))/Vyp;
Xp:=320+Round(13*(25-V2p)); Yp:=460-Round(0.86*taua);
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
Brush.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;
end;

```

```

    taua:=Qa*(ArcTan(V2/Vyp)-ArcTan(V2y/Vyp))/Vyp; tau2:=taua;
    Sa:=(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V2)+Sqr(Vyp))/(Sqr(V2y)+Sqr(Vyp)))/2;
    S2:=Sa;
    end;
if IndVs2=2 then
    begin
        del1:=Round((V2-V2min)*10);
        for j:=0 to del1 do
            begin
                V2p:=V2-0.1*j;
                taup:=Qp*(1/(V2p+0.1)-1/V2);
                Xp:=320+Round(13*(25-V2p)); Yp:=460-Round(0.86*taup);
                with Image1.Canvas do
                    begin
                        Pen.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
                        Brush.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
                        Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
                    end;
                end;

                taup:=Qp*(1/(V2y+0.1)-1/V2); tau2:=taup;
                Sp:=(0.0027754*Qp)*ln(V2/(V2y+0.1));
                S2:=Sp;
            end;
        {if IndVs2=3 then
            begin
                taur:=Qa*ln((2*Sqr(V2y)-2*V2*V2y-0.1*(V2y-
V2))/(0.1*(V2y+V2)))/(2*V2y);
                tau2:=taur;
                Sr:=-((0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V2y)-Sqr(V2y+2))/(Sqr(V2y)-Sqr(V2)))/2;
                S2:=Sr;
            end;}
    end;

```

```

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));

Str(Round(tau1),StS);
TextOut(160,383,'t1 = '+StS);
StS:=FloatToStr(S1);
TextOut(208,383,'S1 = '+StS);
Str(Round(tau2),StS);
TextOut(160,425,'t2 = '+StS);
StS:=FloatToStr(S2);
TextOut(208,425,'S2 = '+StS);
Xt1:=320+13*(25-V1); Yt1:=460; Xp1:=Xt1; Yp1:=Yt1;
Xt1y:=320+Round(13*(25-V1y)); Yt1y:=460-Round(0.86*tau1);

Xt2:=320+13*(25-V2); Yt2:=460; Xp2:=Xt2; Yp2:=Yt2;
Xt2y:=320+Round(13*(25-V2y)); Yt2y:=460-Round(0.86*tau2);

Pen.Color:=TColor(RGB(150,20,20));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xt1-5,Yt1-5,Xt1+5,Yt1+5);
Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xt2-5,Yt2-5,Xt2+5,Yt2+5);

HoldBmp.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
Image1.Canvas,Rect(309,25,650,470));

Pen.Color:=TColor(RGB(150,20,20));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xt1y-5,Yt1y-5,Xt1y+5,Yt1y+5);
Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,150));

```

```

Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xt2y-5,Yt2y-5,Xt2y+5,Yt2y+5);
end;

{условие допустимости маневра}
tn1:=0; tn2:=0;

X1o:=0; Y1o:=0; X2o:=D*sin(Alf/57.3); Y2o:=D*cos(Alf/57.3);
if tau1>tau2 then
begin
St1:=V1*tn1/3600+S1/10; St2:=V2*tn2/3600+S2/10+V2y*(tau1-tau2)/3600;
taumx:=tau1; taumn:=tau2;
Smx:=S1; Smn:=S2;
Kmx:=Kc1; Kmn:=Kc2; Vmx:=V1; Vmn:=V2; Vmny:=V2y;
end
else
begin
St2:=V2*tn2/3600+S2/10; St1:=V1*tn1/3600+S1/10+V1y*(tau2-tau1)/3600;
taumx:=tau2; taumn:=tau1;
Smx:=S2; Smn:=S1;
Kmx:=Kc2; Kmn:=Kc1; Vmx:=V2; Vmn:=V1; Vmny:=V1y;
end;

X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot); Kotp:=Kot; Alfp:=Alft;
Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));

Dmn:=Lm; tf:=Round(tn+taumx);
tmn:=tf+Round(3600*Dt*cos((Alft-Kot)/57.3)/Vot);

```

```
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,446,98,486,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
```

```
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
```

```
with Image1.Canvas do
```

```
begin
```

```
Font.Size:=10;
```

```
Font.Style:=[];
```

```
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
```

```
StA:=FloatToStr(Lm);
```

```
TextOut(35,456,'Dm= '+StA);
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));
```

```
if Lm<Dd then
```

```
begin
```

```
Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
```

```
TextOut(125,456,'Маневр недопустим');
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
```

```
TextOut(125,452,'Маневр возможен');
```

```
repeat
```

```
begin
```

```
tn1:=tn1+1; tn2:=tn2+1;
```

```
if tau1>tau2 then
```

```
begin
```

```
St1:=V1*tn1/3600+S1/10;
```

```
St2:=V2*tn2/3600+S2/10+V2y*(tau1-tau2)/3600;
```

```
end
```

```
else
```



```

begin
St2:=V2*tn2/3600+S2/10;
St1:=V1*tn1/3600+S1/10+V1y*(tau2-tau1)/3600;
end;

X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

{KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);}
Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));
end;
until Dd>=Lm;
td:=tn1+taumx;
Str(Round(td),StS);
Str(Round(tn1),StC);
StA:=FloatToStr(Lm);
Font.Size:=8;
TextOut(120,468,'tn = '+StC+', td = '+StS+', Lm = '+StA);
Ys:=460-Round(0.86*td);
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Ys,645,Ys,RGB(170,70,70),1,0);
Button9.Enabled:=True;
Button10.Enabled:=True;
tau1f:=tau1; tau2f:=tau2;
V1f:=V1y; V2f:=V2y;
if sin((Kotp-Alfp)/57.3)>0 then del:=1
else del:=-1;
B1:=del*Dd-0.1*Smx*sin((Kotp-Kmx)/57.3)-
(0.1*Smn+Vmny*(taumx-taumn)*sin((Kotp-Kmn)/57.3)/3600);
B2:=Vmx*sin((Kotp-Kmx)/57.3)-Vmn*sin((Kotp-Kmn)/57.3);
tn3:=Round(3600*B1/B2);

end;

```

```
end;
```

```
{ColorRect(PortsBmp,Image1,0,0,657,497,RGB(250,255,255),0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,328,0,328,496,RGB(170,170,170),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,0,25,656,25,RGB(170,170,170),1,0);
```

```
PortsBmp.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,657,497),
Image1.Canvas,Rect(0,0,657,497));}
end;
```

```
if IndOK=2 then
```

```
begin
```

```
Button4.Enabled:=False;
```

```
Button5.Enabled:=False;
```

```
Button10.Enabled:=True;
```

```
Button9.Enabled:=True;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Button14Click(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
StC : string[3];
```

```
begin
```

```
Vsl:=2;
```

```
if IndOK=1 then
```

```
begin
```

```
Button1.Enabled:=False;
```

```
Button2.Enabled:=False;
```

```
Button3.Enabled:=False;
```

```
if V2y<V2 then
```

```
begin
```

```
Button1.Enabled:=True;
```

```
Button2.Enabled:=True;
```

```

end;

if V2y<V2 then
begin
  Button1.Enabled:=True;
  Button2.Enabled:=True;
  IndVs2:=4;
end
else if V2y>V2 then
begin
  IndVs2:=3; OkVs2:=1;
end;

with Image1.Canvas do
begin
  Font.Color:=TColor(RGB(10,80,10));
  Font.Size:=8;
  Font.Style:=[];
  if (IndVs2=0) or (IndVs2=3) then
  begin
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(225,255,255),
      RGB(155,155,155),0);
    if IndVs2=0 then
    begin
      TextOut(120,408,'Судно 2 скорость не меняет');
      TextOut(160,425,'t2 = 0');
      OkVs2:=1;
    end;
    Font.Color:=TColor(RGB(10,10,80));
    if IndVs2=3 then TextOut(115,408,'Судно 2 увеличение скорости');
  end;
end;
if OkVs1*OkVs2=1 then ButtonOk.Enabled:=True;
end;
if IndOK=2 then
begin

```

```

    Button6.Enabled:=True;
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,5,320,20,360,RGB(240,250,250),
                RGB(240,250,250),0);
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,5,362,20,402,RGB(155,155,255),
                RGB(55,55,155),0);

    end;
end;

procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
var
    StC : string[3];

begin
    Vsl:=1;

    if IndOK=1 then
        begin
            Button1.Enabled:=False;
            Button2.Enabled:=False;
            Button3.Enabled:=False;
            if V1y<V1 then
                begin
                    Button1.Enabled:=True;
                    Button2.Enabled:=True;
                    IndVs1:=4;
                end
            else if V1y>V1 then
                begin
                    IndVs1:=3; OkVs1:=1;
                end;
        end

    with Image1.Canvas do
        begin
            Font.Color:=TColor(RGB(10,80,10));
            Font.Size:=8;
            Font.Style:=[];

```

```

if (IndVs1=0) or (IndVs1=3) then
begin
  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(225,255,255),
    RGB(155,155,155),0);
  if IndVs1=0 then
  begin
    TextOut(120,366,'Судно 1 скорость не меняет');
    TextOut(160,383,'t1 = 0');
    OkVs1:=1;
  end;
  Font.Color:=TColor(RGB(10,10,80));
  if IndVs1=3 then TextOut(115,366,'Судно 1 увеличение скорости');
  end;
end;
if OkVs1*OkVs2=1 then ButtonOk.Enabled:=True;
end;
if IndOK=2 then
begin
  Button6.Enabled:=True;
  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,5,320,20,360,RGB(255,155,155),
    RGB(155,55,55),0);
  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,5,362,20,402,RGB(240,250,250),
    RGB(240,250,250),0);

  end;
end;

procedure TForm1.ScrollBar1Scroll(Sender: TObject; ScrollCode: TScrollCode;
  var ScrollPos: Integer);
label 1;

var
  StS : string[4];
  gamb,gamn,Snb,Snn,V1b,V1n,Sns : real;
  Vc2,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2 : word;
  Gr,Gr1: BPt;

```

```

StD : string[6];
delj : real;
Pjx,Pjy : word;

begin
if IndScrl=1 then
  begin
    D:=ScrollPos/10;
    StS:=FloatToStr(D);
    Button16.Caption:='D='+StS;
  end;
if IndScrl=2 then
  begin
    Alf:=ScrollPos;
    Str(Alf,StS);
    Button17.Caption:='Alf='+StS;
  end;
if IndScrl=3 then
  begin
    V1:=ScrollPos;
    Str(V1,StS);
    Button18.Caption:='V1='+StS;
  end;
if IndScrl=4 then
  begin
    V2:=ScrollPos;
    Str(V2,StS);
    Button19.Caption:='V2='+StS;
  end;
if IndScrl=5 then
  begin
    Kc1:=ScrollPos;
    Str(Kc1,StS);
    Button20.Caption:='K1='+StS;
  end;

```

```
if IndScri=6 then
```

```
begin
```

```
Kc2:=ScrollPos;
```

```
Str(Kc2,StS);
```

```
Button21.Caption:='K2='+StS;
```

```
end;
```

```
KotVot(Kc1,Kc2,V1,V2,Kot,Vot);
```

```
Lm:=Abs(D*sin((Alf-Kot)/57.3));
```

```
if (Lm<Dd) and (cos((Alf-Kot)/57.3)>0) then Button15.Enabled:=True
```

```
else Button15.Enabled:=False;
```

```
(* {Image3.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,705,465),
```

```
Copy1Bmp.Canvas,Rect(0,0,705,465));}
```

```
Xn2:=492+Round(55*D*sin(Alf/57.3)/2);
```

```
Yn2:=232-Round(55*D*cos(Alf/57.3)/2);
```

```
Xn1:=492+Round(55*D*sin((Alf+180)/57.3)/2);
```

```
Yn1:=232-Round(55*D*cos((Alf+180)/57.3)/2);
```

```
Bv:=10; L1:=12; L2:=4; Lv:=40;
```

```
ShipA(PortsBmp,Image3,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xn1,Yn1,Kc1,Xn2,Yn2,Kc2,V1,V  
2,0);
```

```
with Image3.Canvas do
```

```
begin
```

```
Pen.Mode:=pmMask;
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(120,20,20));
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,200));
```

```
Ellipse(Xn2-55,Yn2-55,Xn2+55,Yn2+55);
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
```

```
Ellipse(Xn2-2,Yn2-2,Xn2+2,Yn2+2);
```

```
Ellipse(Xn1-2,Yn1-2,Xn1+2,Yn1+2);
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image3,Xn1,Yn1,Xn2,Yn2,RGB(30,30,30),1,0);
```

```
Pen.Mode:=pmCopy;
```

```

Font.Size:=14;
Font.Color:=RGB(210,30,30);
Brush.Color:=TColor(RGB(230,255,255));
if (Lm<Dd) and (cos((Alf-Kot)/57.3)>0) then
TextOut(90,345,'D A N G E R');
Font.Size:=8;
end;

```

```

gamb:=Cour(Round(Alf-Arcsin(Dd/D)));
gamn:=Cour(Round(Alf+Arcsin(Dd/D)));

```

```

if (Kc1=gamb) or (Kc1=gamn) or (Kc1=Alf) then
begin
with Image3.Canvas do
begin
Font.Size:=14;
Font.Color:=RGB(30,20,210);
{Brush.Color:=TColor(RGB(230,255,255));}
Brush.Style:=bsClear;
TextOut(40,120,'MAHEBP HEBO3MOЖEH');
Font.Size:=8;
end;
goto 1;
end;

```

```

Snb:=sin((Kc2-gamb)/57.3)/sin((Kc1-gamb)/57.3);
Snn:=sin((Kc2-gamn)/57.3)/sin((Kc1-gamn)/57.3);

```

```

Sns:=sin((Kc2-Alf)/57.3)/sin((Kc1-Alf)/57.3);

```

```

Ports1Bmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
Image3.Canvas,Rect(25,30,275,280));

```

```

with Ports1Bmp.Canvas do
begin

```



```
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
```

```
Brush.Style:=bsClear;
```

```
for Vc2:=1 to 25 do
```

```
begin
```

```
V1b:=Vc2*Snb; V1n:=Vc2*Snn;
```

```
Xs:=25+Round(Vc2*10); Ys:=580-Round(V1b*10);
```

```
if Vc2=5 then
```

```
begin
```

```
Gr[1].x:=Xs; Gr[1].y:=Ys;
```

```
end;
```

```
if Vc2=25 then
```

```
begin
```

```
Gr[2].x:=Xs; Gr[2].y:=Ys;
```

```
end;
```

```
Ys:=580-Round(V1n*10);
```

```
if Vc2=5 then
```

```
begin
```

```
Gr[4].x:=Xs; Gr[4].y:=Ys;
```

```
end;
```

```
if Vc2=25 then
```

```
begin
```

```
Gr[3].x:=Xs; Gr[3].y:=Ys;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
Pen.Mode:=pmMask;
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(255,210,200));
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(25,175,25));
```

```
Polygon(Gr);
```

```
Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=330; Gr1[2].x:=75; Gr1[2].y:=330;
Gr1[3].x:=75; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,200));
Pen.Color:=TColor(RGB(205,200,150));
Polygon(Gr1);
```

```
Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=530; Gr1[2].x:=275; Gr1[2].y:=530;
Gr1[3].x:=275; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Polygon(Gr1);
```

```
Pen.Mode:=pmCopy;
```

```
V1b:=5*Sns;
Xs1:=25+Round(5*10); Ys1:=580-Round(V1b*10);
V1n:=25*Sns;
Xs2:=25+Round(25*10); Ys2:=580-Round(V1n*10);
```

```
ColorLine(Ports1Bmp,Image3,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2,RGB(150,50,50),1,1);
end;
```

```
Image3.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
Ports1Bmp.Canvas,Rect(25,330,275,580));
```

```
Xs1:=25+Round(V2*10); Ys1:=280-Round(V1*10);
```

```
with Image3.Canvas do
```

```
begin
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(50,120,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,220,150));
Ellipse(Xs1-5,Ys1-5,Xs1+5,Ys1+5);
end;
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image3,Xs1,30,Xs1,280,RGB(30,100,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image3,25,Ys1,275,Ys1,RGB(30,100,30),1,0);*)
```

```
(*t1:=ScrollPos;
Str(Round(t1*120),StrF);
{Panel1.Caption:='t = '+StrF;}}
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,657,497),
PortsBmp.Canvas,Rect(0,0,657,497));
delj:=57.3*0.514*DVn*(A*exp(-mo*t1*120)+C*exp(-
h*t1*120)*sin(wd*t1*120+psi/57.3));
Pjx:=35+Round(t1*120/12);
Pjy:=240-Round(delj*9);
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Mode:=pmMask;

Pen.Color:=TColor(RGB(10,10,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(10,10,155));
Ellipse(Pjx-2,Pjy-2,Pjx+2,Pjy+2);

Pen.Color:=TColor(RGB(10,10,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,190));
Ellipse(Pjx-10,Pjy-10,Pjx+10,Pjy+10);

ColorLine(PortsBmp,Image1,Pjx,Pjy,Pjx,430,RGB(10,10,155),1,0);
ColorRect(PortsBmp,Image1,Pjx-15,431,Pjx+22,453,RGB(255,250,190),0);
if Pjx<334 then
begin
ColorLine(PortsBmp,Image1,Pjx,Pjy,363,Pjy,RGB(10,10,155),1,0);
ColorRect(PortsBmp,Image1,365,Pjy-10,410,Pjy+10,RGB(255,250,190),0);
end
else
begin
```

```

ColorLine(PortsBmp,Image1,Pjx,Pjy,301,Pjy,RGB(10,10,155),1,0);
ColorRect(PortsBmp,Image1,255,Pjy-10,300,Pjy+10,RGB(255,250,190),0);
end;

```

```

Pen.Mode:=pmCopy;
Brush.Style:=bsClear;
TextOut(Pjx-10,435,StrF);
StD:=FloatToStr(delj);
if Pjx<334 then TextOut(368,Pjy-7,StD)
else TextOut(258,Pjy-7,StD);
end;*)
1: end;

```

```

procedure TForm1.Image1Click(Sender: TObject);
label 1;
var
StB,StC : string[4];
K1c,K2c : Integer;
V2c,V1c : real;
Red,Grn,Blue,Red1,Grn1,Blue1 : byte;

```

```

begin
(*if IndCtr>0 then
begin *)
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,424+176,54,482+176,72,RGB(255,255,255),
RGB(255,255,255),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,424+176,74,482+176,92,RGB(255,255,255),
RGB(255,255,255),0);

```

```

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,424+176,94,482+176,112,RGB(255,255,255),
RGB(255,255,255),0);

```

```

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,424+176,114,482+176,132,RGB(255,255,255),
RGB(255,255,255),0);

```

```

{end;}

if (Xcn>120) and (Xcn<587) and (Ycn>20) and (Ycn<486) then
begin

V2c:=(487-Ycn)/13;

if IndCrt<4 then
K1c:=Cour(Round(K1+(Xcn-354)/0.8667))
else V1c:=(Xcn-120)/13;

if IndCrt<4 then
KotVot(K1c,K2,V1,V2c,Kot,Vot)
else
KotVot(K1,K2,V1c,V2c,Kot,Vot);

{IndCrt:=3;}

case IndCrt of
1: begin

Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));
end;
2: begin
taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2c)));

Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V2)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V2c)+Pm/myu));
Sa:=Sa/1852;

Xvsv:=X2+Sa*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sa*cos(K2/57.3);
Xtv:=X1+V1*(taua/3600)*sin(K1c/57.3);
Ytv:=Y1+V1*(taua/3600)*cos(K1c/57.3);

```

```

Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
{alfva:=Pelg(Xvsv-Xtv,Ytv-Yvsv);}
alfva:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
Lm:=Abs(Dva*sin((alfva-Kot)/57.3));
if Ind3V=1 then
  begin
    Xv3:=X3+V3*(taua/3600)*sin(K3/57.3);
    Yv3:=Y3+V3*(taua/3600)*cos(K3/57.3);
    Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
    alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
    KotVot(K1c,K3,V1,V3,Kot,Vot);
    Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

    Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
    alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
    KotVot(K2,K3,V2c,V3,Kot,Vot);
    Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
    Lm:=Lm;
  end;
end;
3: begin
  taup:=1.1*M*(V2/V2c-1)/(0.514*V2*myu);
  Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V2/V2c))/(2*myu);
  Sp:=Sp/1852;

  Xvsv:=X2+Sp*sin(K2/57.3);
  Yvsv:=Y2+Sp*cos(K2/57.3);
  Xtv:=X1+V1*(taup/3600)*sin(K1c/57.3);
  Ytv:=Y1+V1*(taup/3600)*cos(K1c/57.3);

  Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
  alfvp:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
  Lm:=Abs(Dvp*sin((alfvp-Kot)/57.3));

  if Ind3V=1 then

```

```

begin
Xv3:=X3+V3*(taup/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taup/3600)*cos(K3/57.3);
Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
KotVot(K1c,K3,V1,V3,Kot,Vot);
Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
KotVot(K2,K3,V2c,V3,Kot,Vot);
Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
Lm:=Lm;
end;
end;
5: begin
taua2:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2c)));

Sa2:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V2)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V2c)+Pm/myu));
Sa2:=Sa2/1852;

{Xvsv:=X2+Sa*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sa*cos(K2/57.3);}

taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1c)));

Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V1)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V1c)+Pm/myu));
Sa:=Sa/1852;

{Xtv:=X1+Sa*sin(K1/57.3);;
Ytv:=Y1+Sa*cos(K1/57.3);}

if taua>taua2 then

```

```

begin
Xtv:=X1+Sa*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+Sa*cos(K1/57.3);
Xvsv:=X2+(Sa2+V2c*(taua-taua2)/3600)*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+(Sa2+V2c*(taua-taua2)/3600)*cos(K2/57.3);
end
else
begin
Xtv:=X1+(Sa+V1c*(taua2-taua)/3600)*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+(Sa+V1c*(taua2-taua)/3600)*cos(K1/57.3);
Xvsv:=X2+Sa2*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sa2*cos(K2/57.3);
end;

Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
alfva:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
Lm:=Abs(Dva*sin((alfva-Kot)/57.3));

if Ind3V=1 then
begin
Xv3:=X3+V3*(taua/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taua/3600)*cos(K3/57.3);
Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
KotVot(K1,K3,V1c,V3,Kot,Vot);
Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

Xv3:=X3+V3*(taua2/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taua2/3600)*cos(K3/57.3);
Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
KotVot(K2,K3,V2c,V3,Kot,Vot);
Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
Lm:=Lm;
end;

```



```

end;
4: begin
    taup2:=1.1*M*(V2/V2c-1)/(0.514*V2*myu);
    Sp2:=1.1*M*ln(Sqr(V2/V2c))/(2*myu);
    Sp2:=Sp2/1852;

    {Xvsv:=X2+Sp*sin(K2/57.3);
    Yvsv:=Y2+Sp*cos(K2/57.3);}

    taup:=1.1*M*(V1/V1c-1)/(0.514*V1*myu);
    Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V1/V1c))/(2*myu);
    Sp:=Sp/1852;

    if taup>taup2 then
        begin
            Xtv:=X1+Sp*sin(K1/57.3);
            Ytv:=Y1+Sp*cos(K1/57.3);
            Xvsv:=X2+(Sp2+V2c*(taup-taup2)/3600)*sin(K2/57.3);
            Yvsv:=Y2+(Sp2+V2c*(taup-taup2)/3600)*cos(K2/57.3);
        end
    else
        begin
            Xtv:=X1+(Sp+V1c*(taup2-taup)/3600)*sin(K1/57.3);
            Ytv:=Y1+(Sp+V1c*(taup2-taup)/3600)*cos(K1/57.3);
            Xvsv:=X2+Sp2*sin(K2/57.3);
            Yvsv:=Y2+Sp2*cos(K2/57.3);
        end;

    {Xtv:=X1+Sp*sin(K1/57.3);;
    Ytv:=Y1+Sp*cos(K1/57.3);}

    Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
    alfv:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
    Lm:=Abs(Dvp*sin((alfv-Kot)/57.3));
    if Ind3V=1 then

```

```

begin
Xv3:=X3+V3*(taup/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taup/3600)*cos(K3/57.3);
Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
KotVot(K1,K3,V1c,V3,Kot,Vot);
Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

```

```

Xv3:=X3+V3*(taup2/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taup2/3600)*cos(K3/57.3);
Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
KotVot(K2,K3,V2c,V3,Kot,Vot);
Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
Lm:=Lm;
end;
end;

```

6: begin

```

taup:=1.1*M*(V2/V2c-1)/(0.514*V2*myu);
Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V2/V2c))/(2*myu);
Sp:=Sp/1852;

```

```

{Xvsv:=X2+Sp*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sp*cos(K2/57.3);}

```

```

taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1c)));

```

```

Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V1)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V1c)+Pm/myu));
Sa:=Sa/1852;

```

```

{Xtv:=X1+Sa*sin(K1/57.3);;
Ytv:=Y1+Sa*cos(K1/57.3);}

```

```

if taua>taup then
begin

```

```

Xtv:=X1+Sa*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+Sa*cos(K1/57.3);
Xvsv:=X2+(Sp+V2c*(taua-taup)/3600)*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+(Sp+V2c*(taua-taup)/3600)*cos(K2/57.3);
end
else
begin
Xtv:=X1+(Sa+V1c*(taup-taua)/3600)*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+(Sa+V1c*(taup-taua)/3600)*cos(K1/57.3);
Xvsv:=X2+Sp*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sp*cos(K2/57.3);
end;

Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
alfvp:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
Lm:=Abs(Dvp*sin((alfvp-Kot)/57.3));

if Ind3V=1 then
begin
Xv3:=X3+V3*(taua/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taua/3600)*cos(K3/57.3);
Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
KotVot(K1,K3,V1c,V3,Kot,Vot);
Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

Xv3:=X3+V3*(taup/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taup/3600)*cos(K3/57.3);
Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
KotVot(K2,K3,V2c,V3,Kot,Vot);
Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
Lm:=Lm;
end;
end;
7: begin

```

```

taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2))-
ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V2c)));

```

```

Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V2)+Pm/myu)/(Sqr(0.514*V2c)+Pm/myu));
Sa:=Sa/1852;

```

```

{Xvsv:=X2+Sa*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sa*cos(K2/57.3);}

```

```

taup:=1.1*M*(V1/V1c-1)/(0.514*V1*myu);
Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V1/V1c))/(2*myu);
Sp:=Sp/1852;

```

```

if taup>taua then
begin
Xtv:=X1+Sp*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+Sp*cos(K1/57.3);
Xvsv:=X2+(Sa+V2c*(taup-taua)/3600)*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+(Sa+V2c*(taup-taua)/3600)*cos(K2/57.3);
end
else
begin
Xtv:=X1+(Sp+V1c*(taua-taup)/3600)*sin(K1/57.3);
Ytv:=Y1+(Sp+V1c*(taua-taup)/3600)*cos(K1/57.3);
Xvsv:=X2+Sa*sin(K2/57.3);
Yvsv:=Y2+Sa*cos(K2/57.3);
end;

```

```

{Xtv:=X1+Sp*sin(K1/57.3);;
Ytv:=Y1+Sp*cos(K1/57.3);}

```

```

Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
alfvp:=Pelg(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
Lm:=Abs(Dvp*sin((alfvp-Kot)/57.3));

```

```

if Ind3V=1 then

```

```

begin
Xv3:=X3+V3*(taup/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taup/3600)*cos(K3/57.3);
Dv13:=Distn(Xtv-Xv3,Ytv-Yv3);
alfv13:=Pelg(Xv3-Xtv,Yv3-Ytv);
KotVot(K1,K3,V1c,V3,Kot,Vot);
Dm13:=Abs(Dv13*sin((alfv13-Kot)/57.3));

Xv3:=X3+V3*(taua/3600)*sin(K3/57.3);
Yv3:=Y3+V3*(taua/3600)*cos(K3/57.3);
Dv23:=Distn(Xvsv-Xv3,Yvsv-Yv3);
alfv23:=Pelg(Xv3-Xvsv,Yv3-Yvsv);
KotVot(K2,K3,V2c,V3,Kot,Vot);
Dm23:=Abs(Dv23*sin((alfv23-Kot)/57.3));
Lm:=Lm;
end;
end;
end;

```

(* Блок відображення даних рекомендованого маневру*)

```

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(120,20,585,488),
CopyBmp.Canvas,Rect(120,20,585,488));

```

```

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(255,155,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));

if IndCrt<4 then
begin
Str(K1c,StB);
TextOut(430+176,55,'K1= '+StB);

```



```

        end
    else
        begin
            Red:=255; Grn:=220; Blue:=220;
        end;

        ColorRect(PortsBmp,Image1,10,204,90,244,RGB(Red,Grn,Blue),0);

        StC:=FloatToStr(Dm13);
        TextOut(15,215,'D13m= '+StC);

        if Dm23>=Dd then
            begin
                Red1:=220; Grn1:=255; Blue1:=220;
            end
        else
            begin
                Red1:=255; Grn1:=220; Blue1:=220;
            end;

            ColorRect(PortsBmp,Image1,10,264,90,304,RGB(Red1,Grn1,Blue1),0);
            StC:=FloatToStr(Dm23);
            TextOut(15,275,'D23m= '+StC);
        end;
    end;
end;

end;

```

```
(*IndVs1:=0; IndVs2:=0; OkVs1:=0; OkVs2:=0;
```

```
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
CopyBmp.Canvas,Rect(309,25,650,470));
```

```

Button7.Enabled:=False;
Button14.Enabled:=False;
ButtonOK.Enabled:=False;
Button1.Enabled:=False;
Button2.Enabled:=False;
Button3.Enabled:=False;

```

```

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(240,250,250),
              RGB(240,250,250),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(240,250,250),
              RGB(240,250,250),0);

```

```

if (Xcn>25) and (Xcn<275) and (Ycn>30) and (Ycn<280) then
begin
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
CopyBmp.Canvas,Rect(25,30,275,280));

```

```

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,320,98,360,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,362,98,402,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,404,98,444,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,446,98,486,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);

```

```

if Ycn<=280 then V1y:=(280-Ycn)/10;
if Xcn<=275 then V2y:=(Xcn-25)/10;

```

```

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D*sin((Alf-Kot)/57.3));

```

```

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));

```



```

Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(255,155,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
StB:=FloatToStr(V1y);
TextOut(35,330,'V1y= '+StB);
StC:=FloatToStr(V2y);
TextOut(35,372,'V2y= '+StC);
Str(Round(Kot),StB);
TextOut(35,414,'Kot= '+StB);

```

```

StC:=FloatToStr(Lm);
TextOut(35,456,'Dm= '+StC);

```

```

Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,120));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,220));
Ellipse(Xcn-5,Ycn-5,Xcn+5,Ycn+5);
end;

```

```

ColorLine(PortsBmp,Image1,Xcn,30,Xcn,280,RGB(80,80,180),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,25,Ycn,275,Ycn,RGB(80,80,180),1,0);

```

```

if (V1y<V1min) or (V2y<V2min) then
begin
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,80,10));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
if V1y<V1min then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
TextOut(115,366,'Судно 1, потеря управления');
end;
if V2y<V2min then

```

```

begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
TextOut(115,408,'Судно 2, потеря управления');
end;
end;
goto 1;
end;

```

```

if (V1y>V1) or (V2y>V2) then
begin
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,80,10));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
if V1y>V1 then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
TextOut(115,366,'Судно 1 увеличение скорости')
end;
if V2y>V2 then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
TextOut(115,408,'Судно 2 увеличение скорости');
end;
end;
goto 1;
end;
if Lm>=Dd then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(240,250,250),
              RGB(240,250,250),0);

```

```
    Button7.Enabled:=True;
    Button14.Enabled:=True;
  end
else
  begin
1: ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
    RGB(155,155,155),0);
    with Image1.Canvas do
      begin
        Font.Size:=10;
        Font.Style:=[];
        Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
        TextOut(125,456,'Маневр недопустим');
      end;
    end;
  end;*)
end;
end.
```

ДОДАТОК Б.
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ТА ВІДОМОСТІ ПРО
АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения/ Бурмака И.А., **Пасечнюк С. С.**, Кулаков М. А.// Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 – 81.

2. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении./ Бурмака И.А., Кулаков М.А., **Пасечнюк С.С.**// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1. – С. 40 – 48.

3. Калиниченко Г. Е. Учет динамических характеристик судов при формировании области их опасных курсов / Калиниченко Г. Е., **Пасечнюк С.С.** // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 28 – 34.

4. Алексейчук Б.М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений /Алексейчук Б.М., , **Пасечнюк С.С.** // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 – С. 10 – 15.

5. Калиниченко Г. Е. Формирование области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик/ Калиниченко Г.Е., **Пасечнюк С.С.** // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 44 – 51.

6. Бурмака И.А. Формализация области опасных курсов и скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Бурмака И.А., **Пасечнюк С.С.** // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, – 2018. – Вып. 28. – С. 16 – 23.

7. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э.Н., **Пасечнюк С.С.**, Омельченко Т.Ю.// Science and Education a New Dimension.

Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. – С. 97 – 101.

8. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения / Пасечнюк С.С. // Austria - science, Issue: 16, 2018. – С. 38 – 44.

9. Бурмака И.А. Выбор совместной стратегии расхождения судов изменением параметров движения при их внешнем управлении. / Бурмака И.А., **Пасечнюк С.С.** // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158, 2018. – С. 41 – 45.

10. Пасечнюк С.С. Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения/ Пасечнюк С.С.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. – С. 25 – 30.

11. Алексейчук Б.М. Определение законов распределения погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., **Пасечнюк С.С.** // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16–17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 52 – 53.

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

13. Алексейчук Б.М. Влияние длительности формирования выборки на закон распределения вероятностей погрешностей навигационных измерений/ Алексейчук Б.М., Сикирин В.Е., **Пасечнюк С.С.** // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17–18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 23 – 25.

14. Бурмака И.А. Внешнее управление процессом расхождения судов с помощью области их опасных курсов и скоростей. / Бурмака И.А.,

Пасечнюк С.С. // Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, авторматизація: Матеріали наук.-техн. конф., 16–17 листоп. 2017 – Одеса : НУ «ОМА», 2017. – С. 139 – 142.

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

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

ДОДАТОК В.
АКТИ УПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені крьюінговою компанією «Даніка Україна» при перепідготовці та підвищенні кваліфікації командного складу судноводіїв (акт впровадження від 11.09.2019 р.).
2. Матеріали дисертаційного дослідження ввійшли складовою частиною в заключний звіт по науково-дослідній роботі «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» НУ «ОНМА», Одеса 2018. (акт від 20.02.2019 р.).
3. Акт верифікації розрахунку безпечного маневру розходження, гальмуванням одного судна та зміною курсу іншим, при небезпечному зближенні. Здійснений на судні « Glenda Meredith» датований 05.07.2019.

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор по науковій роботі Національного
університету «Одеська морська академія»
д.т.н., професор

В.А. Голіков

12 лютого 2019 р.

А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи Пасечнюка Сергія
Сергійовича на тему «Попередження зіткнення суден шляхом застосування
спільного маневру розходження» в наукових дослідженнях,
які виконуються в університеті

Ми, що нижче підписались, начальник науково-дослідної частини
університету Савчук В.Д., завідувач кафедри Чапчай П.О. склали цей акт у
тому, що результати дисертаційної роботи Пасечнюка Сергія Сергійовича
розділ 1.16 «Розробка суднової інформаційної системи попередження
зіткнень» ввійшли складовою частиною в заключний звіт по науково-
дослідній роботі «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах
плавання», НУ «ОМА», Одеса – 2018 р. (№ ДР 0115U003580), науковий
керівник професор Чапчай П.О.

Начальник науково-дослідної
частини НУ «ОМА»,
к.т.н., с.н.с., професор

В.Д. Савчук

Завідувач кафедри,
к.т.н., професор

П.О. Чапчай

А К Т ВПРОВАДЖЕННЯ

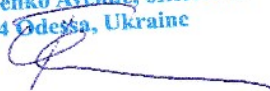
Цим актом підтверджується, що в компанії Danica при перепідготовці та підвищенні кваліфікації командного складу судноводіїв, під час тренування з теми «Попередження зіткнення суден застосуванням спільного маневру розходження» використовується метод вибору оптимального маневру розходження зміною курсу одного судна та швидкості іншого судна за допомогою областей небезпечних параметрів руху, який розроблено в дисертаційній роботі К.Д.П. Пасечнюка Сергія Сергійовича на тему «Попередження зіткнення суден застосуванням спільного маневру розходження».

Компанія «Danica» в Україні,

Капітан наставник, К.Д.П. Ганжа Дмитро Олександрович


Danica Crewing Services Ltd
2A Shevchenko Avenue, office 601
65044 Odessa, Ukraine

11.09.2019 г.



ACT OF VERIFICATION

Method of divergence of ships by joint maneuver of changing the course of one ship and the speed of another.

This act certifies that in a situation of dangerous approach of ships «A» (M/T Glenda Meredith) and «B» (M/T Glenda Megan), using the method of divergence of ships by a joint maneuver. The values of the decrease in the speed of the ship "A" by active braking and changes of the course of the ship "B" were proposed and calculated by Capt. Pasechnyuk Sergiy.

The situation of a dangerous approach of ships at the time of the beginning of the divergence maneuver is characterized by the following parameters:

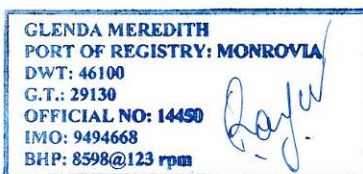
bearing to ship "B" is 227 °, distance between ships was 2.9 miles, parameters of movement of ship "A": course 186 °, speed 10 knots; parameters of movement of the vessel "B": course 066 °, speed 12.5 knots.

On ship "A" the parameters of the divergence maneuver corresponding to the distance of the closest approach with a wound of 1 mile were calculated and reported to ship "B". By mutual agreement of the vessels, a divergence maneuver was performed by simultaneously reducing the speed of vessel "A" by active braking to a value of 8 knots and turning the vessel "B" to a course of 93 °. With the calculated parameters of the divergence maneuver, the distance of the closest approach was 1.05 miles, which is practically equal to the selected value, which confirms the correctness of the method of the divergence maneuver, proposed by Capt. Pasechnyuk Sergiy,

Verified by

Master of M/T Glenda Meredith

Capt. Janarthanan Raju



05th July 2019