

Національний університет "Одеська морська академія "
Міністерства науки і освіти України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Волков Євген Леонідович

УДК 656.61.052

ДИСЕРТАЦІЯ

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ЛОКАЛЬНО-НЕЗАЛЕЖНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН ВИКОРИСТАН- НЯМ ОБЛАСТЕЙ НЕПРИПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ

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

_____ Волков Є. Л.

Науковий керівник д. т. н., професор Цимбал М.М.

Одеса – 2018

АНОТАЦІЯ

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

На базі огляду літературних джерел проведено аналіз основних напрямів вирішення проблеми зниження аварійності суден шляхом забезпечення безпеки судноводіння. Встановлено, що основними напрямками рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння є розробка методів моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, що сприяє їх більш ефективному і безпечному плаванню, попередження зіткнень суден у прибережних районах плавання, та забезпечення точності контролю місця судна і оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

В результаті аналізу було встановлено, що центральним напрямом рішення вказаної проблеми є вдосконалення методів попередження зіткнень суден в ситуаціях їх небезпечних зближень. Обґрунтовано основний напрям дисертаційного дослідження, яке присвячене розробці способу вибору безпечного маневру розходження зміною курсу або швидкості базового судна, судна на якому знаходиться судноводій, та з точки зору якого розглядається ситуація небезпечного зближення, при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден за допомогою відповідних областей неприпустимих значень параметрів руху судна, що маневрує.

Об'єктом дослідження є попередження зіткнення суден, а предметом дослідження є методи вибору оптимального маневру розходження при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден.

Розроблена технологічна карта дослідження, в якій розглянута методологічна структура дисертації і приведено її методологічне забезпечення. Проведено вибір теми дослідження і його основні напрямки.

В технологічній карті викладені мета дисертаційного дослідження і його головна задача, яка представлена трьома незалежними складовими задачами. Сформульована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження, причому показано, що при рішенні незалежних складових задач одержані відповідні наукові результати дисертаційної роботи. Приведені положення роботи, які мають наукову новизну, і вказані результати дослідження, що одержані вперше.

Приведені значущість і практична цінність дисертаційного дослідження, які обумовлюють можливість впровадження практичних рекомендацій, одержаних в дисертаційній роботі, а також сформульоване основне наукове положення роботи.

Стисло розглянуто методику рішення складових задач, які поставлені в дисертаційній роботі. Приведена методика описує основні етапи виконання наукового дослідження по темі дисертації та є узагальненим алгоритмом виконання дисертаційного дослідження, що включає теоретичні розробки з використанням сучасних методів аналітичного аналізу та проведення імітаційного комп'ютерного моделювання, яке підтверджує коректність одержаних способів і процедур визначення параметрів безпечних маневрів розходження судна з ціллю зміною курсу або швидкості.

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

ступеню небезпеки можливого зіткнення. Показано, що доцільно виділити вісім підмножин, три з яких містять цілі, що віддаляються від активного судна, а п'ять підмножин представляють загрозу зіткнення. Одержано аналітичні вирази для визначення приналежності цілей до розглянутих підмножин і приведений відповідний алгоритм.

Розглянуто принцип локально-незалежного управління процесом розходження, який є основним в даний час. Вказується, що необхідність в процесі розходження виникає у разі появи ситуативного збурення, яке може бути формалізоване залежно від рівня небезпеки зіткнення і можливості базового судна управляти ситуацією небезпечного зближення. Розглянуто взаємодію суден при виникненні ситуативного збурення і показано, що для управління процесом розходження необхідно погоджувати його маневри.

Тому для узгодження маневрів розходження застосовується система координації при взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення. Показано, що така система повинна відповідати ряду обов'язкових вимог, до яких відносяться принцип необхідної різноманітності Ешбі, вимозі повноти системи бінарної координації і відсутності невизначеності в процесі розходження.

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

В роботі розглянуто формування повної стратегії розходження судна з небезпечною ціллю при локально-незалежному управлінні процесом розходження, яка враховує вимоги системи бінарної координації взаємодії суден. Залежно від розвитку процесу розходження і поведінки цілі базове судно використовує один з раніше передбачених варіантів маневру розходження.

Для оперативного аналізу небезпеки ситуації зближення запропонована область неприпустимих параметрів руху судна і її графічне відображення, а

також розроблена процедура вибору безпечного маневру розходження зміною курсу судна. Досліджено вплив інерційності судна при повороті на безпеку розходження і запропонований алгоритм урахування інерційності при повороті за допомогою способу послідовних наближень при допущенні постійності кутової швидкості повороту судна. Запропонована процедура вибору маневру розходження зміни курсу судна за допомогою області неприпустимих параметрів його руху відрізняється простотою і наочністю.

При плаванні в стислих водах за наявності навігаційних небезпек передбачений спосіб їх урахування при виборі параметрів стратегії розходження базового судна. Розглянуті два типи навігаційних небезпек, до яких відносяться точкові і розподілені.

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

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

Розроблена імітаційна програма містить три основні модулі:

- модуль формування початкової ситуації небезпечного зближення судна з ціллю;
- модуль формування областей небезпечних параметрів руху судна і вибору безпечних маневрів розходження з їх допомогою;

- модуль програвання вибраного маневру розходження зміною курсу або зниженням швидкості активним або пасивним гальмуванням.

Першим модулем генерується ситуація небезпечного зближення судна з ціллю шляхом введення користувачем її параметрів і одержання відповідного значення дистанції найкоротшого зближення. Другим модулем для початкової ситуації небезпечного зближення формується область небезпечних параметрів руху судна з урахуванням співвідношення незмінних швидкостей судна і цілі, а при необхідності використовується маневр розходження зниженням швидкості активним або пасивним гальмуванням і виводиться графічне зображення області небезпечних швидкостей при гальмуванні з вказівкою можливості проведення маневру розходження гальмуванням, причому при позитивному результаті виводиться оптимальне значення швидкості розходження з урахуванням режиму гальмування судна. У разі потреби є можливість вибору маневру послідовної зміни курсу, після чого проводиться зниження швидкості активним або пасивним гальмуванням.

Після вибору безпечного маневру розходження зміною курсу або/і зниження швидкості судна за допомогою третього модуля імітаційної програми проводиться програвання маневру розходження, при якому виводиться інформація про поточні значення параметрів процесу розходження судна з ціллю.

При програванні маневру відбувається анімаційне відображення процесу розходження судна з ціллю. Шляхом аналізу процесу розходження і значень його параметрів робиться висновок про коректність вибраних маневрів розходження судна. Представлені результати програвання маневрів розходження у ряді ситуацій небезпечного зближення показують коректність запропонованого способу вибору маневру розходження судна зміною курсу або швидкості за допомогою областей небезпечних параметрів руху судна.

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає в створенні нового методу вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній програмі, і який ві-

дрізняється застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна.

У дисертаційній роботі:

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

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

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

пряму «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 06.12. 2017 р.).

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

Основні результати дисертаційного дослідження здобувача опубліковані в наступних наукових працях:

1. Пятаков Э.Н. Синтез системы бинарной координации при расхождении судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 4 (38). – С. 23 - 29.

2. Y.L. Volkov. The Choice of the Maneuver of the Vessel's Passing Considering the Coordination's System of the Interactive Vessels and Their Dynamic Characteristics / Y.L. Volkov, E.N. Pyatakov & Y.V.Kalinichenko // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 1, page 79-82, 2017.

3. Волков Е.Л. Выбор маневра расхождения судна изменением курса с помощью области недопустимых параметров движения / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 97 - 101.

4. Копанский С.В. Графический способ оценки значения ситуационного возмущения/ Копанский С.В., Волков Е.Л. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22 – С. 57-62.

5. Пятаков Э.Н. Координация безопасного расхождения трех судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 185-193.

6. Волков Е.Л. Применение области недопустимых параметров движения для предупреждения столкновения судов / Волков Е.Л., Омельченко

Т.Ю. // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 44-49.

7. Волков Е.Л. Оперативный способ предупреждения столкновения судов с помощью области недопустимых параметров движения/ Волков Е.Л. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23 – С. 21-24.

8. Волков Е. Л. Использование областей недопустимых значений параметров движения судна при локально-независимом управлении процессом расхождения/ Волков Е. Л. // East European Science Journal (Warsaw, Poland) # 11 (27), 2017 part 1. – С. 15-24

9. Волков Е.Л. Маневр расхождения судна снижением скорости активным торможением / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 148, 2017.- С. 98 - 101.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

10. Пятаков Э. Н. Разработка системы координации трех судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 139–141.

11. Волков Е.Л. Определение значения ситуационного возмущения с помощью графической диаграммы/ Волков Е.Л.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 98–101.

12. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения с учетом требований системы координации взаимодействующих судов/ Пятаков Э.Н., Волков Е.Л. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17-18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 27–29.

13. Волков Е. Л. Безопасное расхождение судов маневром уклонения/
Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура,
судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17
листоп. 2017 – Одеса : ОНМА, 2017. – С. 137 - 140.

ANNOTATION

Volkov Y.L. Perfection of methods of local-independent control of process of passing of ships by the use of areas of impermissible values of parameters. It is Qualifying scientific labor on rights for a manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences (Ph.D.) after speciality 05.22.13 - navigation and traffic control (271-river and marine transport). It is the National University "Odessa marine academy", Odessa, 2018.

On the base of review of literary sources, the analysis of basic directions of decision of problem of decline of accident rate of ships is conducted by providing of safety of navigation. It is set that development of methods of design of motion of ship at sailing in the restricted areas is basic directions of decision of problem of providing of safety of navigation, that is instrumental in their more effective and safe sailing, warning of collisions of ships in the off-shore districts of sailing, and providing of exactness of control of ship's position and estimation of safety of navigation in the restricted areas.

It was set as a result of analysis, that perfection of methods of warning of collisions of ships in the situations of their dangerous rapprochements is central direction of decision of the indicated problem. It is grounded basic direction of dissertation research which is devoted to development of method of choice of safe maneuver of passing by the change of course or speed of basic ship at the local-independent control of process of passing of ships by the proper areas of impermissible values of parameters of motion of ship, witch maneuvers.

Warning of collision of ships is a research object, and the methods of choice of optimum maneuver of passing at the local-independent control of process of passing of ships are the article of research.

Developed technological card of research, in which the considered methodological structure of dissertation and its methodological providing is resulted. The choice of theme of research and his basic directions is conducted.

The purpose of dissertation research and his main task which is represented by three independent component tasks is laid out in a technological card. Formulated and confirmed working hypothesis of scientific research, it is thus shown that at the decision of independent component tasks the got proper scientific dissertation job performances. Resulted positions of work, which have a scientific novelty, and indicated results of research, that is got first.

Meaningfulness and practical value of dissertation research is resulted, which stipulate possibility of introduction of the practical recommendations got in dissertation work, and also the formulated substantive scientific provision of work.

The method of decision of component tasks which are put in dissertation work is briefly considered. The resulted method describes the basic stages of implementation of scientific research on the theme of dissertation and is the generalized algorithm of implementation of dissertation research, that includes theoretical developments with the use of modern methods of analytical analysis and conducting of imitation computer design which confirms correctness of the got methods and procedures of determination of parameters of safe maneuvers of passing of ship with a purpose by the change of course or speed.

In basic part of work, the resulted formalization of process of navigation, as changes of navigation situation in time, the reflection of which is conducted by the system of navigation information. From the process of navigation, the process of passing of ships which are dangerously drawn together is selected. Offered principle of decomposition of great number of aims surrounding a ship on groups on the degree of danger of possible collision. It is shown that it is expedient to select eight groups, three from which contain aims which are removed from an active ship, and five groups represent the threat of collision. Analytical expressions are got for determination of belonging of aims to considered groups and the resulted proper algorithm.

Principle of independent process which is basic presently control of passing is considered. It is specified, that a necessity in the process of passing arises up in the case of appearance of situation indignation which can be formalized depending on

the level of danger of collision and possibility of basic ship to manage the situation of dangerous rapprochement. Cooperation of ships is considered in case of occurring of situation indignation and shown that for the process control of passing it is necessary to coordinate his maneuvers.

Therefore for the concordance of maneuvers of passing the system of co-ordination at cooperation of ships in the situation of dangerous rapprochement is used. It is shown that such system must answer the row of obligatory requirements, which principle of the necessary variety Eshbi belongs to, to the requirement of plenitude of the system of binary coordination and absence of vagueness in the process of ship's passing.

Also considered system of coordination of cooperation of three ships, actuality of development of which is conditioned by sailing of ships in the restricted waters, where the situations of dangerous rapprochement of three ships can arise up often enough. It is shown that the system of coordination of cooperation of three ships must contain four regions of mutual duties, for each of which the offered types of conduct of three aims which are dangerously drawn together.

In work, forming of complete strategy of passing of ship is considered with a dangerous purpose at the independent process control of ship's passing, which takes into account the requirements of the system of binary co-ordination of cooperation of ships. Depending on development of process of ship's passing and conduct of purpose a base ship uses one of the before foreseen variants of maneuver of ship's passing.

For the operative analysis of danger of situation of rapprochement, the offered areas of impermissible parameters of motion of ship and its graphic reflection, and also developed procedure of choice of maneuver of safe maneuver of ship's passing by the change of course of ship. Influencing of inertia of ship is explored at a turn on safety of passing and offered algorithm of account of inertia at a turn by the method of progressive approximations at assumption of constancy of angular speed of turn of ship. The offered procedure of choice of maneuver of passing of change

of course of ship by the areas of impermissible parameters of his motion differs by simplicity and evident.

At sailing in the restricted waters at presence of navigation dangers the foreseen method of their account at the choice of parameters of strategy of passing of base ship. Considered two types of navigation dangers, to which belong point and distributed.

For situations, when a ship is limited in possibility of change of course the offered procedure of choice of strategy of passing of ship by the change of his speed by the active or passive braking, thus by the impermissible areas of courses and speeds of braking the offered procedure of choice of maximum speed during braking of ship at the set course of sailing of ship, which is optimum, as minimizes the losses of working time of ship of implementation of maneuver of safe ship's passing by the change of speed. Resulted row of numeral examples which serve for explanation of the got theoretical results.

For verification of correctness of the method of choice of safe maneuver of ship's passing got in dissertation work the considered imitation computer program, its description is resulted, and also represented results of imitation design of passing of ships in different situations of dangerous rapprochement and playing of their maneuvers.

The developed imitation program contains three basic modules:

- module of forming of initial situation of dangerous rapprochement of ship with a purpose;
- module of forming of areas of dangerous parameters of motion of ship and choice of safe maneuvers of ship's passing with their help;
- module of playing of the chosen maneuver of ship's passing by the change of course or decline of speed by the active or passive braking.

The first module generates the situation of dangerous rapprochement of ship with a purpose by introduction by the user of its parameters and receipt of the proper value of distance of the shortest rapprochement. The second module for the initial situation of dangerous rapprochement forms the region of dangerous param-

eters of motion of ship taking into account correlation of unchanging speeds of ship and purpose, and if necessary the maneuver of ship's passing by the decline of speed is used by the active or passive braking and the graphic image of areas of dangerous speeds during braking with pointing of possibility of conducting of maneuver of ship's passing by braking, thus the optimum value of speed of ship's passing taking into account the mode of braking of ship at a positive result. In the case of necessity there is possibility of choice of maneuver of successive change of course, whereupon the decline of speed by the active or passive braking is conducted.

After the choice of safe maneuver of ship's passing by the change of course or/and decline of speed of ship by the third imitation program unit, playing of maneuver of ship's passing is conducted, which information about the current values of parameters of process of passing of ship with a target.

There is the animation reflection of process of passing of ship with a target at playing of maneuver. By the analysis of process of ship's passing and values of his parameters is drawn conclusion about correctness of the chosen maneuvers of passing of ship. The represented results of playing of maneuvers of ship's passing in a number of situations of dangerous rapprochement show correctness of the offered method of choice of maneuver of passing of ship the change of course or speed by the areas of dangerous parameters of motion of ship.

The scientific novelty of the results got in dissertation consists in creation of a new method of choice of safe maneuver of passing of ships at the local-independent management, that is realized in the computer program, and which differs by application of areas of dangerous values of parameters of motion of ship

In dissertation work:

- the method of choice of maneuver of ship's passing by the change of course is first developed by application of areas of impermissible values of parameters of motion of ship;
- the method of forming of the extended region of dangerous values of parameters of motion of ship is first offered;

– first got procedure of computer reflection of region of dangerous values of parameters and choice of maneuver of ship's passing.

The practical value of the results got in dissertation consists in that they can be used on ships in the process of exploitation, and also used by the developers of the navigation informative systems intended for the local-independent control of process of passing of ship.

Materials of dissertation research are used in an educational process at teaching of discipline in the KSMA at the department of navigation and electronics' navigational system in the part of safety maneuvering of the vessels. (act from 27.11.2017). Materials of dissertation research are used in an educational process in the NU "OMA" at teaching of discipline of «Providing of safety of navigation» (act from 07.12.2017). Materials of dissertation research are used in an educational process in the NU "KIWT DUIT" at teaching of discipline of «Theory and practice of the navigation and ship's management », « Modern methods of experimental researches and processing of data in driving of ship and management a ship », « Technical systems of navigation », « Navigation and sailing direction » (act from 14.12.2017). The practical results of dissertation research are inculcated by private higher educational establishment «Institute of post graduated education» the «Odessa marine trainer center» for preparation of navigators (act of introduction from 06.12.2017), by the crewing company «VShips Ukraine» for studies, preparation and retraining of officers of marine ships to direction of «Navigator» with the purpose of providing of safety of navigation (act of introduction from 06.12.2017).

Keywords: safety of navigation, warning of collisions of ships, local-independent management, areas of dangerous values of parameters of motion of ship, imitation design.

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

Basic scientific results of dissertation.

1. Пятаков Э.Н. Синтез системы бинарной координации при расхождении судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 4 (38). – С. 23 - 29.

2. Y.L. Volkov. The Choice of the Maneuver of the Vessel's Passing Considering the Coordination's System of the Interactive Vessels and Their Dynamic Characteristics / Y.L. Volkov, E.N. Pyatarov & Y.V.Kalinichenko // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 1, page 79-82, 2017.

3. Волков Е.Л. Выбор маневра расхождения судна изменением курса с помощью области недопустимых параметров движения / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 97 - 101.

4. Копанский С.В. Графический способ оценки значения ситуационного возмущения/ Копанский С.В., Волков Е.Л. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22 – С. 57-62.

5. Пятаков Э.Н. Координация безопасного расхождения трех судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 185-193.

6. Волков Е.Л. Применение области недопустимых параметров движения для предупреждения столкновения судов / Волков Е.Л., Омельченко Т.Ю. // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 44-49.

7. Волков Е.Л. Оперативный способ предупреждения столкновения судов с помощью области недопустимых параметров движения/ Волков Е.Л. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23 – С. 21-24.

8. Волков Е. Л. Использование областей недопустимых значений параметров движения судна при локально-независимом управлении процессом

расхождения/ Волков Е. Л. // East European Science Journal (Warsaw, Poland) # 11 (27), 2017 part 1. – С. 15-24.

9. Волков Е.Л. Маневр расхождения судна снижением скорости активным торможением / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 148, 2017.- С. 98 - 101.

Publications which certify approbation of materials of dissertation.

10. Пятаков Э. Н. Разработка системы координации трех судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 139–141.

11. Волков Е.Л. Определение значения ситуационного возмущения с помощью графической диаграммы/ Волков Е.Л.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали ІХ Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 98–101.

12. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения с учетом требований системы координации взаимодействующих судов/ Пятаков Э.Н., Волков Е.Л. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17-18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 27–29.

13. Волков Е. Л. Безопасное расхождение судов маневром уклонения/ Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : ОНМА, 2017. – С. 137 - 140.

ЗМІСТ

Стр.

ВСТУП.....	22
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ІСНУЮЧИХ НАПРЯМКІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВО- ДІННЯ.....	28
1.1. Аналіз літератури за проблемою забезпечення безаварійного пла- вання морських суден.....	28
1.2. Вибір основного напрямку дисертаційного дослідження.....	49
1.3. Висновки по першому розділу.....	51
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	53
2.1. Обґрунтування теми наукового дослідження.....	53
2.2. Характеристика методів дослідження дисертаційної роботи.....	55
2.3. Методика проведення дисертаційного дослідження.....	60
2.4. Висновки по другому розділу.....	61
РОЗДІЛ 3. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН ПРИ НЕЗАЛЕЖНОМ УПРАВЛІННІ.....	63
3.1. Опис процесу судноводіння.....	63
3.2. Принцип незалежного управління процесом розходження.....	73
3.3. Система координації при взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення.....	77
3.4. Система координації взаємодії трьох суден.....	85
3.5. Висновки по третьому розділу.....	101

РОЗДІЛ 4. ВИБІР СТРАТЕГІЇ РОЗХОДЖЕННЯ СУДНА ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЛАСТІ НЕПРИПУСТИМИХ ПАРАМЕТРІВ.....	103
4.1. Формування повної стратегії розходження судна з урахуванням вимог системи бінарної координації.....	103
4.2. Побудова області неприпустимих параметрів руху судна.....	111
4.3. Вибір стратегії розходження судна зміною курсу.....	119
4.4. Урахування навігаційних перешкод при виборі параметрів стратегії розходження базового судна.....	127
4.5. Вибір стратегії розходження судна зміною швидкості.....	132
4.6. Висновки по четвертому розділу.....	147
РОЗДІЛ 5. РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН.....	148
5.1. Опис комп'ютерної імітаційної програми вибору маневру розходження судна за допомогою області небезпечних параметрів його руху.....	148
5.2. Використання імітаційного моделювання для перевірки коректності одержаних результатів дисертаційного дослідження.....	165
5.3. Висновки по п'ятому розділу.....	195
ВИСНОВКИ.....	198
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	200
ДОДАТОК А. Фрагмент лістингу програми розрахунку безпечного маневру розходження.....	215
ДОДАТОК В. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації.....	292

ДОДАТОК С. Акти упровадження результатів дисерта-
ції.....295

ВСТУП

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

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

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), також в рамках планів наукових досліджень національного університету "Одеська морська академія" за держбюджетною темою "Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання" (№ ГР 0115U003580, 2016-го.), в якій здо-

бувачу належить виконаний підрозділ, а також в рамках планів наукових досліджень Херсонської державної морської академії за держбюджетною темою "Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден військового та цивільного призначення" (№ ГР 0117U002176, 2017-го.), в якій здобувачу належить виконаний підрозділ.

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

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийнято допущення про існування областей неприпустимих параметрів руху судна та можливості їх використання для підвищення коректності, оперативності і простоти визначення параметрів стратегії розходження суден при їх локально-незалежному управлінні.

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

Рішення головної задачі досягнуто шляхом дослідження складових задач:

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

Об'єктом дослідження дисертації є попередження зіткнення суден.

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

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

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

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

У дисертаційній роботі:

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

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані на судах в процесі експлуатації, а також викорис-

тані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом розходження судна.

Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі ХДМА на кафедрі судноводіння та електронних навігаційних систем у розділах забезпечення безпеки маневрування судна. (акт від 27.11.2017). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі НУ «ОМА» при викладанні дисципліни «Забезпечення навігаційної безпеки плавання» (акт від 07.12.2017 р.). Матеріали дисертаційного дослідження також були використані в навчальному процесі КІВТ ДУІТ при підготовці фахівців морського та річкового транспорту при викладанні дисциплін «Теорія та практика судноводіння та управління судном», «Сучасні методи експериментальних досліджень та обробки даних в судноводінні та управління судном», «Технічні системи судноводіння», «Навігація та лоція» (акт від 14.12.2017). Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим учбовим закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 06.12.2017 р.), крьюінговою компанією «ВіШіпс Україна» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден по напрямку «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 06.12. 2017 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана дисертантом самостійно: здійснений інформаційний пошук і виконано аналіз основних підходів вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння, було обґрунтовано методологічне забезпечення дослідження, розроблений і викладений метод розрахунку параметрів маневрів розходження судна з урахуванням його інерційно - гальмівних характеристик, а також розроблені необхідні алгоритми, що дозволяють формування комп'ютерної системи вибору безпечного маневру розходження, було виконано імітаційне моделювання, впроваджені результати роботи в виробничий процес. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті положення, які нале-

жать автору особисто: координація взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення [134], процедура формалізації бінарної координації суден при взаємодії в процесі розходження [135], визначення областей взаємних обов'язків при координації трьох суден [137], процедура оцінки значення ситуаційного збурення [138], процедура визначення приналежності судна до першої області взаємних обов'язків в разі координації взаємодії трьох суден [139], формалізація структури повної стратегії розходження судна [140], процедура формування області неприпустимих параметрів руху судна [141].

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

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

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 13 наукових праць (з них 6 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 4 наукових статей [133, 138, 139, 141,]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 5 наукових статей [132, 134, 135, 143, 144]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 4 доповіді [136, 137, 140, 142].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (144 найменувань) і дода-

тків. Загальний обсяг роботи становить 300 сторінок і містить 95 рисунків та 4 таблиці, зокрема: 199 сторінок основного тексту, 16 сторінок списку використаних джерел, 86 сторінок додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ІСНУЮЧИХ НАПРЯМКІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

1.1. Аналіз літератури за проблемою забезпечення безаварійного плавання морських суден.

Для вивчення проблеми забезпечення безпечного плавання суден був проведений аналіз основних існуючих літературних джерел, який виявив актуальні напрямки вирішення цієї проблеми:

1. Забезпечення точності контролю місця судна і оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.
2. Використання сучасних інформаційно-управляючих технологій і засобів безпечного судноводіння.
3. Розробка теоретичних методів та технічних заходів щодо попередження зіткнень суден у районах інтенсивного судноплавства.

Проблемі забезпечення безпеки судноводіння в цілому присвячені роботи відомих вчених [1-8]. В роботі [1] розглянуто застосування сучасних систем автоматичного управління рухом судна для забезпечення безпеки судноводіння, а в роботі [2] викладені основні питання проблеми безпечного розходження суден і шляхи їх вирішення. Основні проблеми керованості і управління морських суден викладено в роботі [3], а в роботах [4, 5] розглянуті питання розрахунку інерційних характеристик суден. В роботі [6] викладено питання навігаційної безпеки судноводіння. Питання теорії і практики управління суден в різних ситуаціях і основні аспекти проблеми попередження зіткнення суден розглянуті у роботах [7, 8].

Роботи [9-30] присвячені аспекту точності контролю місця судна, як одного із напрямків вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння в стислих умовах плавання.

У роботі [9] розглянута теорія випадкових похибок навігаційних вимірювань, а похибки вимірювань навігаційних параметрів розглянуто в роботах [10, 11]. Вплив точності на надійність навігації розглянуто в роботі [12].

В статтях [13, 14] розглянута можливість забезпечення високої точності визначення місця суден в стислих районах плавання за допомогою методів кореляційної навігації.

Значною подією в теорії похибок виявився новий погляд на модель формування випадкових величин навігаційних вимірювань, що відрізнявся від моделі запропонованої К. Гаусом для обґрунтування нормального закону розподілу вірогідності випадкових величин [6]. В результаті в судноводінні стали розглядати випадкові похибки, які підкорялися змішаним розподілам вірогідності, відмінним від закону Гауса (хоча граничним змішаним розподілом є якраз нормальний закон) [15-16]. Прийнята гіпотеза про змішаний розподіл похибок добре пояснює експериментальні дані по похибкам навігаційних вимірювань, гістограми яких мають в крайніх розрядах надмірне число членів, що не дозволяє в якості гіпотези використовувати розподіл Гауса. Змішані закони розподілу похибок якраз мають „важкі хвости”. Недоліком моделей змішаного розподілу є те, що вони не відносяться ні до стійких, ні до безмежно-ділимих розподілів. Тому не можуть застосовуватися до опису систем залежних випадкових величин.

У роботі [17] проведено аналіз вибірок випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів і показано, що найбільша відповідність статистичного матеріалу з теоретичним розподілом досягається для законів, відмінних від нормального. В цьому випадку, як випливає з робіт [18, 19], застосування методу найменших квадратів для розрахунку обсервованих координат судна не забезпечує можливості отримання їх ефективних оцінок. Для отримання ефективних оцінок обсервованих координат судна необхідно використовувати

метод максимальної правдоподібності, що враховує дійсний закон розподілу похибок. Дана обставина в даний час не враховується, і відповідні аналітичні вирази отримання ефективних оцінок відсутні.

Дослідження останніх років показали, що проблема опису систем залежних випадкових величин може бути розв'язана за допомогою узагальненого розподілу Пуассона [20], що використовує як базовий нормальний розподіл, а в роботі [21] приведені результати дослідження можливості опису систем залежних випадкових величин за допомогою узагальненого розподілу Пуассону з базовим нормальним законом.

У роботах [22, 23] розглядаються питання законів розподілу вірогідності похибок навігаційної вимірювань початкової вибірки, яка є сумішшю приватних вибірок нормально розподілених похибок з різною дисперсією. Одержана процедура оцінки ефективності обсервованих координат судна з урахуванням змішаних розподілів похибок початкової вибірки.

Робота [24] присвячена аналізу різних підходів до оцінки точності визначення місця судна супутниковою радіонавігаційною системою. Як показав аналіз статистичних матеріалів точності визначення місця судна, гіпотеза про розподіл випадкових похибок визначення широти і довготи за нормальним законом не підтверджується.

Результати дослідження можливості застосування початкових поправок станції в районі порту Щецін при використанні радіонавігаційної системи DGPS показали доцільність їх врахування, про що повідомляється в роботі [25], в ній також вказано, що одержані результати сприятимуть більш широкому застосуванню системи DGPS при плаванні суден в районах підходу до порту Щецін.

Задача позицінування судна в заданому положенні при наявності управління тільки за даними сигналів про момент рискання і силу подовжнього зносу розглядається у роботі [26]. Вирішення вказаної задачі в роботі досягається запропонованим змінним в часі методом управління із зворотним зв'язком, в якому враховується складова управляючої дії по інтегралу.

Як показано у роботі [27], при визначенні місцеположення за системою GPS, виникаючі похибки корегуються диференціальними методами, проте із збільшенням відстані користувача системи від станції нульового відліку з часом поправки можуть виявитися недостатніми. В роботі встановлено, що похибки зростають при збільшенні відстані між приймачем системи DGPS і базовою станцією, причому на кожні 150 км відстані від базової станції похибка зростає на 1 м. Для оцінки реальної похибки приймача шість приймачів DGPS були розміщені через 50 миль на північ і південь від станції відліку Sagres Broadcast Station уздовж португальського побережжя. Реальна похибка позицінування, як витікає з отриманих даних, менша теоретичного значення і складає 0,22 м на кожні 100 км відстані від станції відліку. В портах за відсутності прямої видимості супутника похибки в позицінуванні можуть досягати більших значень.

Для оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих районах у роботі [28] приведені моделі, в яких обмеженість виражається у вигляді розподілу частот бічних відстаней від середини фарватеру до його меж. Розрахунок вірогідності безпечного плавання заданим маршрутом проводиться при відомій щільності розподілу похибки бічного відхилення судна і тривалості маршруту.

В штормових умовах для входу судна в гавань, розташовану на відкритому морському побережжі, існують навігаційні обмеження, на що вказується в роботі [29]. Судно, яке входить в гавань, при сильному хвилюванні може мати небезпечні зсуви щодо планованої траєкторії, що може привести до зіткнення судна з хвилеломом. Індeksi, що оцінюють безпеку входу в гавань, розроблені на базі виконаних натурних досліджень траєкторій руху судна.

Закони розподілу вірогідності, яким можуть бути підлеглі похибки вимірювань навігаційних параметрів, розглянуто у роботі [30], в якій досліджується залежність точності обсервованих координат судна від суттєвих чинників, тобто від точності і числа ліній положення, закону розподілу їх похибок, а також методу розрахунку обсервованих координат. При наявності надмір-

них ліній положення, закон розподілу похибок яких відрізняється від закону Гаусу, одержані аналітичні вирази оцінки ефективності обсервованих координат, розрахованих методом найменших квадратів. За допомогою комп'ютерного імітаційного моделювання підтверджена коректність одержаних аналітичних виразів. В умовах натурних спостережень було одержано 12 вибірок випадкових похибок навігаційних вимірювань і визначені закони розподілу вірогідності, які в своїй більшості відносяться до змішаних законів обох типів.

Публікації [31-39] присвячені методам моделювання руху судна в стислих умовах плавання, які пов'язані з виконанням суднами різних маневрів, що сприяють більш ефективному і безпечному процесу судноводіння.

В роботах [31, 32, 33] розглянуті методи високоточного управління судном в стислих районах, причому роботи [31, 32] присвячені динамічним моделям повороту судна, які ураховують процес перекладки пера керма.

Відомості відносно бортових автоматизованих систем по питанням оцінки, прогнозу і оптимізації процесу судноводіння розглянуті в роботі [34]. В роботі викладено методи прогнозу мореплавства та розглянуто основні принципи вибору судноводієм рішень для забезпечення безпеки при плаванні судна в штормових умовах. Наведені особливості відображення інформації, приведено характеристики функціональних можливостей проаналізованих засобів.

Для різних типів морських рухомих об'єктів, що мають постійну швидкість, в роботі [35] пропонується уніфікована математична модель руху, що описується нелінійним матричним диференціальним рівнянням, аналіз якого визначає вимоги до систем управління морськими рухомими об'єктами. Причому зазначені вимоги формулюються як задачі оптимального управління.

Структура дворівневої системи управління рухом швидкісних суден, що складається зі стратегічного і виконавчого рівнів, пропонується в роботі [36]. Для двох типів швидкісних суден наводиться структура дворівневої системи,

визначається її склад, викладені підходи щодо проектування підсистем керування системи.

В роботі [37] проведено дослідження математичної моделі руху судна під впливом додаткових нелінійних членів, оцінена адекватність прийнятої моделі на різних режимах руху. Виявлено вплив зміни вітру на біфуркаційну картину. Істотне підвищення ефективності автопілоту досягнуто введенням інтелектуальної складової до алгоритму його функціонування, при цьому був подоланий певний рівень некерованості судна.

В статті [38] розглянуті питання ідентифікації судових моделей маневрування, за допомогою яких проводиться дослідження маневреності судна, здійснюється проектування систем управління рухом суден, а також забезпечується розвиток систем управління судовими тренажерами. На основі аналізу гідродинаміки судна у даній роботі запропонована нелінійна модель його маневрування. Для оцінки параметрів моделі використовується теорія ідентифікації систем, причому для розрахунку параметрів пропонується алгоритм, заснований на розширеній теорії фільтра Калмана. Ідентифікація параметрів експерименту потребувала використання циркуляції та зигзагоподібного маневру, які виконуються за допомогою імітатора управління судном. Цей алгоритм забезпечує усунування похибок, які були внесені під час процесу вимірювання.

Робота [39] присвячена викладенню з позицій синергетики теорії управління динамічними об'єктами зі змінними параметрами. Нейромережі та їх архітектура розглянуті в роботі, приведено опис традиційних системи управління і застосування нечіткої логіки для управління. Приведені результати синтезу нейромережових систем управління та наведені приклади нейронного управління.

У більшості сучасних систем управління складними динамічними об'єктами для формування керуючих впливів використовується модель керованого об'єкта, заснована на використанні нейронних мереж, чому присвячена ро-

бота [40]. До класу так званих невизначених об'єктів в роботі відносяться морські рухомі об'єкти, до яких належать, зокрема, морські судна.

Стаття [41] присвячена розробці системи управління курсом судна автопілотом з використанням принципів нечіткої логіки. В роботі розглядається адаптація системи, яка враховує нелінійність та складну динаміку математичної моделі судна, що розглядається як об'єкт управління при випадково змінюваних умовах роботи системи.

У роботі [42] розглянуто синтез алгоритму управління рухом судна при його стабілізації на траєкторії за комплексним економічним критерієм і критерієм точності з урахуванням нелінійної моделі судна і збурень. Пропонується ідентифікація математичної моделі судна з використанням багато альтернативної фільтрації, причому обґрунтовується застосування лінійно-квадратичного методу.

Програма і результати статистичного моделювання процесу руху суден лінійним фарватером представлені в роботі [43]. Показана залежність числа ситуацій небезпечного зближення від різних параметрів, які характеризують навігаційні умови плавання.

Як показано у роботі [44], зараз проводиться розробка інформаційної системи імітаційного моделювання руху суден зі складними динамічними моделями, які враховують залежності від кута кладки керма і оборотів двигуна. Ця система зможе забезпечити новий тип планування маневрів судна і проводити контроль реалізації заданого маневру. У процесі маневрування судна передбачено відображати завдані маневри одночасно з фактичним рухом судна та з індикацією прогнозованої траєкторії, яка визначається реальними вхідними даними від датчиків судна. Така система, що розробляється, призначена вирішувати пряму задачу відображення прогнозованої траєкторії по параметрах заданого маневру, хоча більш актуальною є зворотна задача визначення параметрів маневру, що планується, по завданій програмній траєкторії руху. Тобто, потрібно визначити момент часу початку повороту та його тривалість для заданого кута кладки пера керма, забезпечивши вихід судна у задану точ-

ку.

У роботі [45] зазначається, що значна роль у забезпеченні безпеки судноводіння належить навігаційно-інформаційні системи (НІС) судна. В ній представлені докладні відомості про НІС та електронних картах, наведені характеристики складових частин, функціональних можливостей та розглянуто принципи відображення інформації НІС. Приведено аналіз сучасних датчиків оперативної навігаційної інформації, з аналізом обмежень та недоліків розглянутих систем.

В роботі [46] запропоновано поняття коефіцієнтів впливу параметрів математичної моделі судна на його маневрені характеристики, причому визначені коефіцієнти впливу для таких маневрених характеристик, як радіус сталої циркуляції судна, висув, початкова поворотність судна та всіх характеристик його одержування.

Зростання вантажопідйомності сучасних суден, як відзначається в роботі [47], викликає необхідність застосування вдосконалених комп'ютерних систем для забезпечення їх безпечного плавання. У сучасних системах, як правило, використовуються прогнозні інструменти руху суден, які успішно застосовуються протягом тривалого часу. Однак спрощенні моделі існуючих прогнозів обмежують їх використання в частині поточного відображення руху судна при зміні положення керма та обертів двигуна. Тому необхідно забезпечити підвищену точність реалізації криволінійної траєкторії руху судна більш вдосконаленими прогнозними моделями.

Інтелектуальну систему прогнозування руху судна, яка імітує процес навчання автономного блоку управління, створеного за допомогою штучної нейронної мережі автор розглядає в роботі [48]. Вхідні сигнали фіксуються блоком управління, який обчислює значення необхідних параметрів маневрування судна в стислих водах. Основним завданням системи є безперервний контроль параметрів судна та прогноз їх значень після певного інтервалу часу накопичення. Можливе використання результату прогнозування для попередження судноводія про виникаючу загрозу.

Описано спосіб виконання аналізу даних нестационарних переміщень корпусу морського судна, який запропонований університетом Японії в галузі морського транспорту [49]. В роботі спосіб одержано методом авторегресійного моделювання зі змінними в часі значеннями коефіцієнтів.

Утримання морського об'єкту в заданій точці з заданим курсом, як нелінійна задача управління, розглядається в роботі [50]. Нелінійним фільтром Калмана з локальними ітераціями синтезується алгоритм, за допомогою якого проводиться оцінка поточного стану системи, на базі чого формується необхідний закон керування. Приведені результати моделювання, які показують можливість утримання судна з точністю 4-8 м відносно завданої точки при стабілізації курсу не гірше 2° .

Для автоматичного причалювання суден в статті [51] запропоновано контролер штучної нейронної мережі та обговорюється його послідовне навчання, для якого запропоновано концепцію під назвою "віртуальне вікно", мінімізуючи час маневру швартування. Одержані дані використовуються для навчання двох окремих багатошарових нейронних мереж по кладці пера керма та реверсу енергетичної установки. По завершенню навчання нейронних мереж моделюванням методом Монте-Карло проводилася оцінка ефективності запропонованого контролера. Навчені мережі після отримання прийнятного відсотка успіху реалізуються для експерименту з моделлю судна. Для виявлення можливого впливу початкових умов та наявності вітру на поведінку мережі під час таких експериментів також були проведені додаткові дослідження. В цілях забезпечення безпеки судно за допомогою контролера виводиться в фінальну точку, що знаходиться на деякій відстані від пірсу, що спонукає обговорити в статті також і доцільність дослідження автоматичної допомоги буксира для остаточного виведення судна до пірсу.

В статті [52] розглядаються власні властивості лінійних моделей маневрування суден і настройки моделі повної версії. Нові результати про властивості лінійної динаміки судна представлені в роботі. Основна увага надається формулюванню незв'язаних рівнянь руху і ризику другого порядку, а також

нестандартній поведінці їх похідної при виконанні зигзагоподібного маневру. З погляду додатку до настройки моделі повної версії виводиться дуже важливий цикл поведінки судна у області дрейфового ризику при зигзагоподібному маневрі, який регулюється залежними від швидкості константами часу (типа T3). Цей і деякі інші залежні ефекти, такі як перевищення кута нахилу, швидше за все, будуть втрачені, якщо будуть використані добре відомі рівняння руху судна наближення першого порядку.

Стаття [53] присвячена ідентифікації параметрів моделей маневрування суден з використанням методу рекурсивного найменшого квадрату на основі векторних машин підтримки. Розробка моделей маневрування суден - непроста задача прогнозування маневреності судна. Серед декількох основних підходів до оцінки моделей маневрування суден переважна ідентифікація системи в поєднанні з повномасштабним або вільним модельним тестом. У цьому складі програми ідентифікації системи реального часу з використанням методу рекурсивної ідентифікації, такі як рекурсивний метод найменших квадратів (RLS), застосовуються для он-лайн ідентифікації моделей маневрування суден. Проте цей метод серйозно залежить від об'єктів дослідження і початкових значень ідентифікованих параметрів. Для подолання цієї складності використовується інтелектуальна технологія, тобто опорні векторні машини (SVM), які проводять оцінку початкових значень ідентифікованих параметрів з кінцевими вибірками. Оскільки реальні виміряні дані про рух судна класу *Mariner* завжди включають шум від датчиків і зовнішніх збурень, дані моделювання симуляції зигзага включають значну кількість гауссовського білого шуму. Метод *Wavelet* і декомпозиція емпіричного режиму (EMD) використовуються для фільтрації даних, спотворених шумом. У статті широко обговорюється і аналізується вибір номера вибірки для SVM з метою визначення початкових значень ідентифікованих параметрів. При використанні даних знятого шуму як повчальні зразки введення-висновку параметри моделей маневрування судна оцінюються з використанням відповідно RLS і SVM-RLS. Порівняння результатів ідентифікації і істинних значень параметрів по-

казує, що як ідентифіковані моделі маневрування суден з RLS, так і SVM-RLS мають хорошу згоду з імітованими процесами руху судна, і приріст розмірів вибірки для SVM позитивно впливає на результати ідентифікації. Крім того, SVM-RLS з використанням даних, знятих з EMD, показує найвищу точність і найкращу збіжність.

Багатокритерійний алгоритм на основі АСО для планування траєкторії судна є об'єктом дослідження в роботі [54], в якій представлений новий підхід до рішення проблеми планування шляху для судна, що знаходиться в на-вколишньому середовищі із статичними і динамічними перешкодами. Алгоритм використовує евристичний метод, класифікований по групах підходів Swarm Intelligence, званий Оптимізацією колоній мурашок. Метод базується на колективній поведінці колоній мурашок. Група агентів - штучних мурашок шукає в просторі рішень безпечну, оптимальну траєкторію для судна. Проблема розглядається як багатокритерійна задача оптимізації. Критерії, взяті до уваги при рішенні проблем: безпека шляху, довжина шляху, відповідність міжнародним правилам запобігання зіткненням на морі (COLREG) і плавність ходу.

Попередження зіткнень суден у прибережних районах інтенсивного судноплавства являється центральною проблемою забезпечення безаварійного судноводіння.

Два основні методи управління суднами в ситуації небезпечного зближення розглянуті в роботі [55]. Першим являється локально-незалежний метод, згідно якому кожне з суден приймає рішення про власний маневр розходження в рамках регламентуючої системи попередження зіткнень, якою в даний час є МППЗС-72 в частині маневрування суден, виходячи з ситуації зближення з кожною із цілей і не враховуючи ситуації зближення між цілями.

Другий метод передбачає повне управління системою суден, що зближуються, зовнішнім управлінцем, який враховує всі парні ситуації зближення суден і визначає загальну стратегію розходження, що включає їх взаємоузгодженні маневри.

Процедури вибору оптимальних безпечних стратегій розходження розроблені для обох методів управління суднами при небезпечному зближенні, причому стратегії розходження враховують навігаційні перешкоди, що знаходяться в районі маневрування суден, і динаміку судна, що маневрує. Проведене імітаційне моделювання за допомогою комп'ютера запропонованих методів управління суднами при небезпечному зближенні.

В даний час основним методом розходження суден є їх локально-незалежне управління в ситуації небезпечного зближення, оскільки в процесі розвитку судноводіння він виник, як інструмент попередження зіткнення суден. Цим обумовлена та обставина, що основні дослідження по проблематиці попередження зіткнення суден присвячені розвитку даного методу. В подальшому розглянемо основні роботи в цьому напрямі.

Розходження судна з поодинокі ціллю досліджувалися в роботах [56, 57] без урахування навігаційних перешкод і інерційних характеристик судна, що маневрує, а параметри руху зустрічної цілі приймалися незмінними. В результаті одержані аналітичні вирази, що описують допустимі області безпечних курсів і швидкостей суден, що маневрують, в залежності від їх початкового відносного положення і параметрів руху. У роботах також одержані залежності між істинними і відносними параметрами руху судна для різних випадків. Задача в пропонованій постановці вирішена коректно за допомогою методів оптимального управління.

В роботі [58] запропоновано формування оптимального управління судном при розходженні методами теорії оптимальних дискретних процесів. Робиться припущення про відсутність зовнішніх збурень і незмінність швидкостей і курсів зустрічних суден. У задачі враховуються обмеження щодо безпечного розходження, причому особливостями вирішення поставленої задачі є узагальнений облік динаміки судна, та урахування умов району плавання і судноплавної обстановки. Для пошуку локально оптимальної безпечної траєкторії розходження судна з цілями застосовується ЕОМ. Рішення задачі в явному вигляді неможливо через аналітичний тип критерію оптимальності і на-

кладених обмежень, тому наводиться алгоритм її чисельного рішення, що використовує апарат теорії оптимальних дискретних процесів.

В роботах [59-62] процес розходження суден формалізується, як взаємодія конфліктуючих сторін на ґрунті перетину інтересів економічності руху. В роботі [59] розглянута спроба формалізації процесу розходження судна із кількома цілями з допомогою методів теорії оптимального управління з урахуванням вимог МППЗС-72. Для цього в роботі запропонована дворівнева система управління, за допомогою якої використанням моделі динамічного стану керованого судна і алгоритму пошуку безпечного маневру прогнозується рух судна і небезпечних цілей при заданих збуреннях і різних керуючих діях. За прийнятим критерієм оптимальності у цьому випадку можна визначити необхідні керуючі дії, ураховуючи розглянуту в роботі формалізацію МППЗС.

З появою теорії позиційних диференційних різницевих ігор сформувався альтернативний підхід до формалізації процесу розходження, який заснований на застосуванні теорії ігор. В зв'язку з цією обставиною початкова модель в подальшому була значно доповнена, що знайшло своє відображення в роботах [60, 61]. Запропонована математична модель формалізує судно і всі цілі як динамічну систему, поточний стан якої описується фазовим вектором, що змінюється в часі відповідно до диференціальних рівнянь руху. Як і в роботі [59], задача пошуку оптимальних значень стратегії розходження, розглядається в термінах лінійного програмування, що викликає необхідність лінеаризації нелінійних обмежень врахування навігаційних перешкод і за безпекою розходження. В цей же час застосування диференційних ігор до формалізації процесу розходження також детально викладено в роботі [62].

Застосуванню методу нелінійної інтегральної інваріантності, викладеному в [63, 64], для аналітичного опису процесу розходження суден і розробки системи попередження їх зіткнень присвячені роботи [63-66]. Згідно роботі [64], метод нелінійної інтегральної інваріантності дозволяє формувати стратегію управління динамічною системою, що забезпечує інваріантність деяких фазових координат керованої системи щодо поточних зовнішніх збурень. При

формалізації задачі розходження в якості таких збурень розглядається $2n$ -мірний вектор швидкостей і курсів зустрічних цілей, які ускладнюють рух судна. У цій задачі інваріантними координатами запропоновані відстані від судна до зустрічних цілей. За допомогою згаданого методу, як стверджується у роботі, можна знайти допустиму область безпечних стратегій судна, виходячи з можливих найгірших для процесу розходження значень параметрів руху кожної із зустрічних цілей.

При виборі однокрокових стратегій розходження у роботах [65, 66] пропонується процедура врахування та алгоритмізації МППЗС-72. Так як МППЗС-72 застосовується при розходженні тільки пари суден і вони по суті реалізують бінарну координацію, то в згаданих роботах розглянута система парних відносин на множині всіх спостережуваних цілей і запропоновані композиції, породжуваних ними функцій. Причому визначається ціль, щодо якого необхідно вирішувати задачу вибору, і виділяється множина цілей, що зближуються з нею.

Складні ситуації в стислих водах при обмеженій пропускній здатності сприйняття інформації судноводієм не дає можливості провести переробку її необхідного обсягу, та ускладнює прийняття коректних рішень, особливо в ситуаціях небезпечного зближення розглянуті в роботі [67], а в роботі [68] розглянуті перспективи використання сучасних технічних засобів для управління суднами в умовах обмеженого простору плавання з метою попередження зіткнень суден.

В роботах [69, 70] зазначається, що реалізація пропонованих теоретичних концепцій створення систем формування безпечного маневру зустрічає значні труднощі в частині визначення множини безпечних маневрів розходження, які відповідають обмеженням, що накладаються щодо безпечного розходження з цілями, врахуванню навігаційних небезпек, а також не суперечать МППЗС-72. В роботах запропоновано процедури індивідуального врахування кожного з перелічених обмежень, що послужило для розробки методу їх спільного врахування. Питання вибору оптимального курсу для розхо-

дження суден при криволінійному русі розглянуто в публікації [71].

Докладні дослідження ситуації небезпечного зближення пари суден і визначення умов існування множини безпечних маневрів розходження представлені в роботах [72-76]. У згаданих публікаціях також розглянуто процедуру вибору оптимального маневру по критерію втрат ходового часу, який слід мінімізувати. В роботі [75] проведено аналіз результатів імітаційного моделювання процесу розходження суден, на основі якого наведені недоліки існуючої системи бінарної координації суден, яка реалізована в МППЗС-72 стосовно маневрування суден в ситуації небезпечного зближення.

В роботах [77-83] розглянуто питання визначення параметрів маневру безпечного розходження суден з урахуванням їх інерційності при виконанні повороту, при цьому використовуються різні моделі обертального руху судна. Зокрема приведена найбільш проста модель повороту судна з постійною кутовою швидкістю, яка ускладнюється при використанні диференціальних рівнянь другого та третього порядків відносно поточного курсу судна. Результати імітаційного моделювання процесу розходження суден з урахуванням їх динаміки приводяться в роботі [82], а в роботі [83] запропонована процедура розрахунку характеристик поворотності судна по матеріалам натурного експерименту.

Роботи [84, 85] присвячені питанням розробки аналітичного апарату визначення реалізованої області взаємних обов'язків суден, що небезпечно зближуються, і визначення граничної допустимої дистанції найкоротшого зближення між суднами. В роботах [86-87] розглянуті питання оцінки ситуації розходження суден, так, в роботі [86] запропонована процедура формалізації контролю поточної ситуації і прийняттю рішень по управлінню нею, а в роботі [87] обговорюються різні аспекти відображення ситуації розходження суден.

Врахування навігаційних перешкод при виборі безпечного маневру розходження судна з ціллю розглянуто в роботах [88-90]. Аналітичний опис навігаційних перешкод для їх урахування при виборі маневру розходження в за-

дачі попередження зіткнення суден запропоновано в роботі [88], а рішення задачі урахування лінійної навігаційної перешкоди при розходженні суден розглянуто в роботі [89]. Умова існування непорожньої множини допустимих маневрів розходження з урахуванням наявності навігаційних перешкод в районі маневрування суден, що зближуються, одержана в роботі [90].

В роботі [91] викладена формалізація МППЗС за допомогою алгебри логіки. Для розгляду пропонуються три області в системі координат з осями часу і дистанції найкоротшого зближення. При попаданні судна до кожної з областей реалізується поведінка обох суден відповідно до вимог МППЗС.

Ряд особливостей задачі розходження суден в морі шляхом зміщення на паралельну лінію шляху розглянуто у монографії [92], причому підвищення ефективності запобігання зіткнень може досягатися створенням нових алгоритмів та інтелектуальних систем. Для розходження в роботі використовується одна стратегія - зміщення на паралельну лінію шляху під тим або іншим кутом до лінії вихідного 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.

Координованість бінарних взаємодій, як характеристик взаємодій суден при їх небезпечному зближенні, та їх ефективність розглянуті в роботі [93], причому отримано аналітичні вирази для їх чисельної оцінки. Запропоновано математичну модель взаємодії групи суден, що небезпечно зближуються, при різних типах управління.

Питання екстреного маневрування суден для розходження в ситуації надмірного зближення обговорюються у роботах [94-96]. Визначенню параметрів динамічної моделі обертального руху судна за натурними спостереженнями присвячена робота [94], а формування стратегії розходження суден в ситуації надмірного зближення викладено в публікації [95]. В роботі [96] розглянуто питання урахування кутової швидкості судна при визначенні параметрів маневру розходження в ситуації надмірного зближення.

Проблему безпечного розходження суден з урахуванням особливостей їх взаємодії, яка виникає при їх небезпечному зближенні та визначає взаємні обов'язки в процесі розходження, розглянуто в роботі [97]. 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.

Система ATSM (Autonomous Traffic Management System) розроблена з метою підвищення безпеки та ефективності управління суднами [98], в ній використовуються дані АІС, одержувані з судна - тренажера Shioji Maru, а також дані радіолокаційного спостереження про переміщення суден в Токійській затоці, одержувані для оцінки умов судноплавства. Наступним етапом роботи системи ATSM являється розрахунок оптимальних траєкторій переміщення всіх суден в районі, для чого використовуються програми Forward Dynamics Programming. При використанні оптимального шляху, який розрахований системою ATSM, час проходження при вході в Токійську затоку скорочується до 4%.

Публікації [99, 100] присвячені формуванню суднової безпечної зони. У них запропоновані математичні моделі, що містять системний облік істотних факторів, які орієнтовані на практичне використання в процесі плавання судна в різних умовах.

У роботі [101] показано, що індекс ризику зіткнення суден є основним показником попередження зіткнень суден. Переваги та недоліки різних методів розрахунку індексу ризику зіткнення суден аналізуються у даній роботі. Недоліки широко використовуваної моделі оцінки, запропонованої Keaton J, можуть бути компенсовані запропонованою моделлю оцінки ризику зіткнення суден на основі комплексної площини. Згідно розглянутої моделі розрахунок індексу ризику зіткнення будується для ситуацій мультикоманд суден у вигляді тривимірного зображення просторової кривої індексу ризику, що потребує для реалізації запропонованої моделі одиночного мікрокомп'ютерного

чіпу, який доцільно використовувати для системи прийняття рішень щодо забезпечення безаварійного судноводіння.

У роботах [102, 103] розглянуто застосування віртуальних областей для забезпечення безаварійного плавання в стислих водах. Процедура відображення віртуальної безпечної області судна на електронній карті розглянута в роботі [102], а в роботі [103] викладено спосіб формування безпечної області в судових системах навігаційної інформації.

Контроль і управління рухом судна у статті [104] розглядається, як багаторівнева система, що управляє системами судна при його переході між портами. В розглянутій системі функціональні шари контролю відповідають судовим підсистемам.

Оскільки процес управління рухом судна є багатовимірним з нелінійними і нестационарними характеристиками, а задача вибору оптимального маневру розходження носить ігровий характер, то, як зазначається в роботах [105-107], формалізація і рішення цієї задачі являється дуже складним завданням, шляхи вирішення якого показані в означених роботах.

Базова модель процесу безпечного управління судном у ситуації загрози зіткнення із використанням моделі гри J об'єктів, яка включає у себе нелінійні рівняння стану та нелінійні, змінювані в часі обмеження змінних стану, а також якість індексу управління грою у формах гри інтегральної оплати та остаточного платежу представлена у статті [108]. Модель багатокрокової матричної гри у вигляді двоїстої задачі лінійного програмування прийнята в першому наближенні як модель управління процесом розходження. Для визначення безпечної траєкторії власного судна у програмному забезпеченні Matlab / Simulink була розроблена комп'ютерна програма ігрового управління GSC. Одержані аналітичні результати були перевірені та підтверджені прикладами комп'ютерного моделювання із використанням програми GSC з метою визначення безпечної траєкторії руху судна у реальній навігаційній обстановці.

Штучна нейрона мережа синтезу безаварійного управління в ситуаціях

небезпечного зближення суден в морі та шість методів оптимальної теорії ігор описані в статті [109]. Показано, що визначення безпечної траєкторії руху власного судна при розходженні з іншими суднами для умов гарної та обмеженої видимості можливе застосуванням оптимальних алгоритмів керування методами теорії ігор. Порівняння безпечного управління судном у ситуації небезпечного зближення за допомогою методів антагоністичної та кооперативної ігор приведено в роботі, також були розглянуті багатокрокові позиційні некооперативні та кооперативні ігри. Одержані теоретичні результати були проілюстровані прикладами комп'ютерного моделювання ситуації зближення судна із вісьмома зустрічними цілями з метою визначення безпечних власних судових траєкторій.

В результаті зіткнення суден збиток і витрати можуть мати астрономічні значення, на що вказується в роботі [110]. Тому судноводіям бажано мати інформацію про безпечні траєкторії розходження, особливо в ситуаціях небезпечного зближення декількох суден. У роботі розглянуто різні способи запобігання зіткнень суден, до яких відносяться оглядові, радіолокаційні і УКХ-радіохвильові, а також більш просунуті, такі як домен судна, теорії нечітких множин і генетичного алгоритму. Зазначено, що ці методи погодні в ситуаціях бінарних взаємодій, але їх важче застосувати в ситуаціях небезпечного зближення групи суден. В зв'язку з цим в роботі для попередження зіткнень суден запропоновано розподілений локальний Алгоритм пошуку (DLSA), який є розподіленим алгоритмом, в якому кілька суден спілкуються один з одним в межах певної області методом УКХ- радіохвиль. Ґрунтуючись на інформації, отриманої від сусідніх суден, алгоритм пошуку обчислює ризик зіткнення. Однак, DLSA страждає синдромом квазілокального мінімуму (QLM), який забороняє судну зміну курсу навіть в ситуації ризику зіткнення. Децентралізований Табу Алгоритм пошуку (DTSA) розроблений в даному дослідженні. Щоб уникнути синдрому QLM шляхом модифікації функції вартості і збільшення розмірів домену судна DTSA використовує список табу для підвищення ефективності Табу Алгоритм пошуку. Були проведені експерименти Порі-

вняльна ефективність алгоритмів DLSA і DTSA була одержана експериментальним шляхом і виявилось, що DTSA перевершив DLSA.

В роботі [111] аналізуються МППСС-72 щодо запобігання зіткненню суден на морі, зокрема коментуються положення пунктів 2 і 3 Правила 17. Можливість застосування принципу - Principle of Confidence при спільних діях (Cooperated action) в ситуації ухилення від зіткнення при розборі випадку в Морському арбітражному суді обговорюється в даній публікації. Через те, що розміри суден і їх швидкості збільшилися і потрібно більше часу і більша відстань до їх повної зупинки, пропонується, що пункт 2 Правила 17 повинен мати перевагу перед його пунктом 3.

Ухилення від зіткнення з поодиноким судном з допомогою оціночної системи дій розглянуто в роботі [112]. Трирівнева моделююча схема, що базується на технології синтезу описується в роботі. Принцип функціонування модулів, що описують траєкторію руху судна і його параметри руху, базується на перетворенні координат і геометричній моделі, з допомогою чого визначаються параметри маневру, оцінка ризику зіткнення і дії щодо ухилення від зіткнення.

В роботі [113] викладається теоретичне обґрунтування та принцип дії автономної судової системи ухилення від зіткнення CA (Collision avoidance). Додатково до алгоритму з ухилення від зіткнення розглянуті Правила ухилення від зіткнення COLREG. Також викладаються вимоги до автономної навігації з урахуванням факторів, що впливають на процес ухилення від зіткнення. Згадані фактори здатна оцінити людина та управляти судном на задовільному рівні, проте прийняті рішення є суб'єктивними та можуть бути помилковими, результатом чого може стати зіткнення. Вказується, що дослідження щодо автоматизації управління судном можуть бути представлені в класичній або комп'ютерній категоріях.

Класична техніка заснована на математичних моделях та алгоритмах, а комп'ютерні технології базуються на використанні штучного інтелекту AI (Artificial Intelligence). Методи штучного інтелекту для систем автономного

ухилення від зіткнення, що розглядаються в статті, є експертні методи, нейромережа NN (Neural networks), еволюційні алгоритми, логіка фузі, та комбінація цих методів - гібридні системи (hybrid system).

В роботі [114] пропонується метод neural fuzzy system для оцінки ризику зіткнення суден, котрий одержаний на основі результатів останніх досліджень проблем безпеки морського судноплавства. Новий тип системи neural network system може бути створений з урахуванням переваги штучної нейронної мережі в системі fuzzy. Отримані в роботі результати показали переваги нового методу в порівнянні з традиційними методами.

Питанням вдосконалення технології зовнішнього управління рухом суден в районах контролю СУРС присвячені роботи [115-122]. Через неповну або домінуючу інформацію проблема зіткнення суден або виникнення ситуацій небезпечного зближення суден на морі, часто викликаних людською помилкою, як зазначається в роботі [115], із ростом морських перевезень стає все більш та більш важливою. На принципах повного зовнішнього управління процесом розходження суден засновані підходи формування з допомогою експертних знань безпечних траєкторій руху суден, які постачаються судноводам та службам руху суден. У статті, на відміну від цього, пропонується процедура планування траєкторій руху суден із використанням спеціалізованих алгоритмів їх узгодження шляхом попередніх домовленостей, поки не буде знайдено рішення, яке буде прийнятним для всіх суден, та підпорядковуватиметься правилам запобігання зіткнень та включає у себе динамічну модель всіх суден та проведення переговорів з метою оптимізації траєкторій без зовнішнього управління.

Згадана процедура містить у собі компоненти, які необхідні для вирішення проблеми зіткнення з декількома суднами, та тестується у даний час моделюванням на декількох випробувальних стендах. Оптимальне рішення досягається при швидкому процесі сходження, тобто після декількох раундів переговорів, та забезпечує безпечні траєкторії розходження, що показують перші результати моделювання.

Як зазначається в роботі [116], СУРС, як правило, для забезпечення безпеки судноплавства не має технічних можливостей контролювати рух суден на ділянках скупчення суден. У статті запропонований новий фузі-метод, як додаток до засобів можливості ухилення від зіткнення системи СУРС/AIC. В Морську географічну інформаційну систему MGIS (Marine Geographic Information System) вводяться данні СУРС спільно з даними AIC, що дає платформу для розрахунку даних про область знаходження судна, інерційних сил, що діють на судно. Одержана інформація також використовується для визначення моделі захисного кола і небезпечного індексу. Точне прогнозування часу і позиції зіткнення може бути отримано з використанням аналітичної моделі морської системи GIS. Оператор СУРС одержує можливість прийняття рішень щодо попередження зіткнення суден завдяки запропонованому методу.

В роботах [117-122] розглянуті питання вибору маневру розходження декількох суден зміною курсів або швидкостей. Причому використання небезпечної області курсів двох суден для вибору безпечного маневру розходження розглянуто в роботах [117, 118], а в роботах [119, 120] приводиться процедура вибору маневру розходження трьох суден зміною курсів при їх зовнішньому управлінні. Роботи [121, 122] присвячені попередженню зіткнень суден методами зовнішнього управління процесом розходження з використанням небезпечної області швидкостей суден. Роботи [123-144], виконані автором одноосібно або в співавторстві, присвячені методу локально-незалежного управління процесом розходження суден з використанням областей неприпустимих значень параметрів руху судна, що маневрує.

1.2. Вибір основного напрямку дисертаційного дослідження.

Проведений аналіз літературних джерел з питань вирішення проблеми забезпечення безаварійного судноводіння показав, що основним аспектом вирішення проблеми зниження аварійності суден є попередження їх зіткнень за

рахунок розробки нових методів вибору оптимальної стратегії розходження суден з урахуванням сучасних можливостей комп'ютерних інформаційно-управляючих технологій. Вказана проблема є особливо актуальною для суден, що знаходяться в стислих водах, плавання в яких при виникненні ситуації небезпечного зближення потребує урахування як навігаційних перешкод, так і навколишніх суден.

Як випливає з попереднього підрозділу, основні розробки по проблемі попередження зіткнень суден присвячені локально-незалежному управлінню процесом розходження суден. Особливостями стислих районів плавання являється швидкоплинна зміна навігаційної ситуації, що потребує розробки оперативних та простих в використанні методів оцінки небезпеки зближення та, в разі необхідності, вибору безпечного маневру розходження. Нинішнє комп'ютерне оснащення виробничих процесів та високий рівень використання на судні інформаційних технологій потребує комп'ютерної реалізації пропонованих методів запобігання зіткнення суден. При управлінні рухом суден в районі дії СУРС в ситуації їх небезпечного зближення використовується повне зовнішнє управління процесом розходження. Причому ефективним засобом оцінки небезпеки зближення та вибору оптимального маневру розходження являються області недопустимих параметрів руху суден, що зближаються. Так як локально-незалежне управління процесом розходження суден являється панівним і на сьогодні, то для розробки методів оперативного прийняття рішень в ситуаціях виникнення загрози можливого зіткнення доцільно використати принцип формування областей неприпустимих значень параметрів руху судна для визначення параметрів маневру розходження зміною курсу судна.

Однак в стислих водах часто виникають ситуації, коли судно в ситуації небезпечного зближення не може змінювати початковий курс, що обумовлює необхідність використання маневру розходження зміною його швидкості. Тому крім розробки способу оперативного визначення маневру розходження зміною курсу, слід запропонувати аналогічний спосіб оперативного розраху-

нку параметрів маневру розходження зміною швидкості з використанням відповідної області неприпустимих значень параметрів руху судна.

Таким чином, задача розробки способів вибору маневрів розходження зміною курсу або швидкості судна за допомогою відповідних областей неприпустимих значень параметрів руху судна при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден, реалізованого комп'ютерним інформаційним забезпеченням, що підвищує оперативність, простоту і надійність способу, є перспективною і актуальною тематикою. Цим і обумовлюється вибір напряму досліджень даної дисертаційної роботи.

1.3. Висновки по першому розділу.

На базі огляду літературних джерел у першому розділі проведено аналіз основних напрямів вирішення проблеми зниження аварійності суден шляхом забезпечення безпеки судноводіння.

Як встановлено, основними напрямками рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння є розробка методів моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, що сприяє їх більш ефективному і безпечному плаванню, попередження зіткнень суден у прибережних районах плавання, та забезпечення точності контролю місця судна і оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

В результаті аналізу було встановлено, що центральним напрямом рішення вказаної проблеми є вдосконалення методів попередження зіткнень суден в ситуаціях їх небезпечних зближень.

В розділі обґрунтований основний напрям дисертаційного дослідження, яке присвячене розробці способу вибору безпечного маневру розходження зміною курсу або швидкості базового судна при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден за допомогою відповідних областей неприпустимих значень параметрів руху судна.

Об'єктом дослідження є попередження зіткнення суден, а предметом дослідження є методи вибору оптимального маневру розходження при локально-незалежному управлінні процесом розходження суден.

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.

2.1. Обґрунтування теми наукового дослідження.

В результаті аналізу, проведеного в попередньому розділі, було встановлено, що попередження зіткнень суден при плаванні в стислих водах являється однією із найбільш важливих проблем забезпечення безпеки судноводіння, тому в дисертаційному дослідженні запропоновано розробку способу оперативного розрахунку параметрів маневру розходження при його локально-незалежному управлінні із використанням області неприпустимих значень параметрів руху судна.

Вирішення вказаної задачі потребує, по-перше, розробки процедури формування області неприпустимих значень параметрів руху судна, для чого необхідно одержати аналітичні вирази межі цієї області. По-друге, з допомогою одержаної процедури потрібно забезпечити відображення області з допомогою комп'ютерної графіки і розробити спосіб оцінки небезпеки ситуації зближення судна з ціллю, а у разі потреби забезпечити вибір маневру безпечного розходження зміною курсу або швидкості судна. Розроблені процедури слід представити у вигляді комп'ютерної програми, що забезпечить оперативність, надійність і простоту запропонованого способу.

Таким чином, проблема попередження зіткнень суден розробкою сучасних способів вдосконалення процесу розходження, що мають комп'ютерну реалізацію, є актуальною і перспективною, що обумовлює вибір теми дисертації в наступній редакції: «Вдосконалення методу локально-незалежного управління процесом розходження суден використанням областей неприпустимих значень параметрів».

Вирішення задачі по означеній проблематиці потребує розгляду наступних основних питань:

- з використанням методів системного підходу провести декомпозицію головної задачі дисертаційного дослідження на складові незалежні задачі;
- одержати аналітичні вирази меж області неприпустимих значень параметрів руху судна і розробити процедуру її графічного відображення;
- сформувати спосіб оцінки небезпеки ситуації зближення судна і цілі, а також вибору маневру безпечного розходження, використовуючи область неприпустимих значень параметрів руху судна;
- розробити комп'ютерну імітаційну програму програвання вибраного маневру для перевірки коректності запропонованого в дисертації способу розходження суден.

Актуальність тематики дисертаційного дослідження визначають необхідність підвищення рівня безпеки судноводіння і вдосконалення методів розходження суден в стислих районах плавання.

Розробка способу формування області неприпустимих значень параметрів руху судна та процедури оцінки небезпеки ситуації зближення, як і вибору параметрів маневру розходження судна з ціллю можуть скласти наукову новизну дослідження.

Можливе скорочення збитків від зниження рівня аварійності внаслідок запобігання навігаційним аваріям може скласти економічну ефективність дисертаційного дослідження.

Розробка теоретичної частини роботи і її перевірка за допомогою імітаційного моделювання забезпечують можливість реалізації запропонованого наукового дослідження.

Об'єктом дослідження дисертації є попередження зіткнень суден.

Предметом дослідження є методи вибору оптимального маневру розходження при локально-незалежному управлінні суднами в ситуації небезпечного зближення.

2.2. Характеристика методів дослідження дисертаційної роботи.

На рис. 2.1 приведена технологічна карта методологічного забезпечення дисертаційного дослідження, яка є характеристикою рішення головної задачі дисертаційної роботи методами системного підходу з використанням сучасних методологічних досягнень.

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

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

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийнято допущення про існування областей неприпустимих параметрів руху судна та можливості їх використання для підвищення коректності, оперативності і простоти визначення параметрів стратегії розходження суден при їх локально-незалежному управлінні.

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

Для вирішення головної задачі дисертації була здійснена її декомпозиція на незалежні складові задачі, для чого були використані методи теорії дослідження операцій. Виявилось, що головну задачу дисертаційного дослідження доцільно представити трьома наступними незалежними складовими задачами:

1. Розробка способу вибору маневру розходження з небезпечною ціллю зміною курсу застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна.

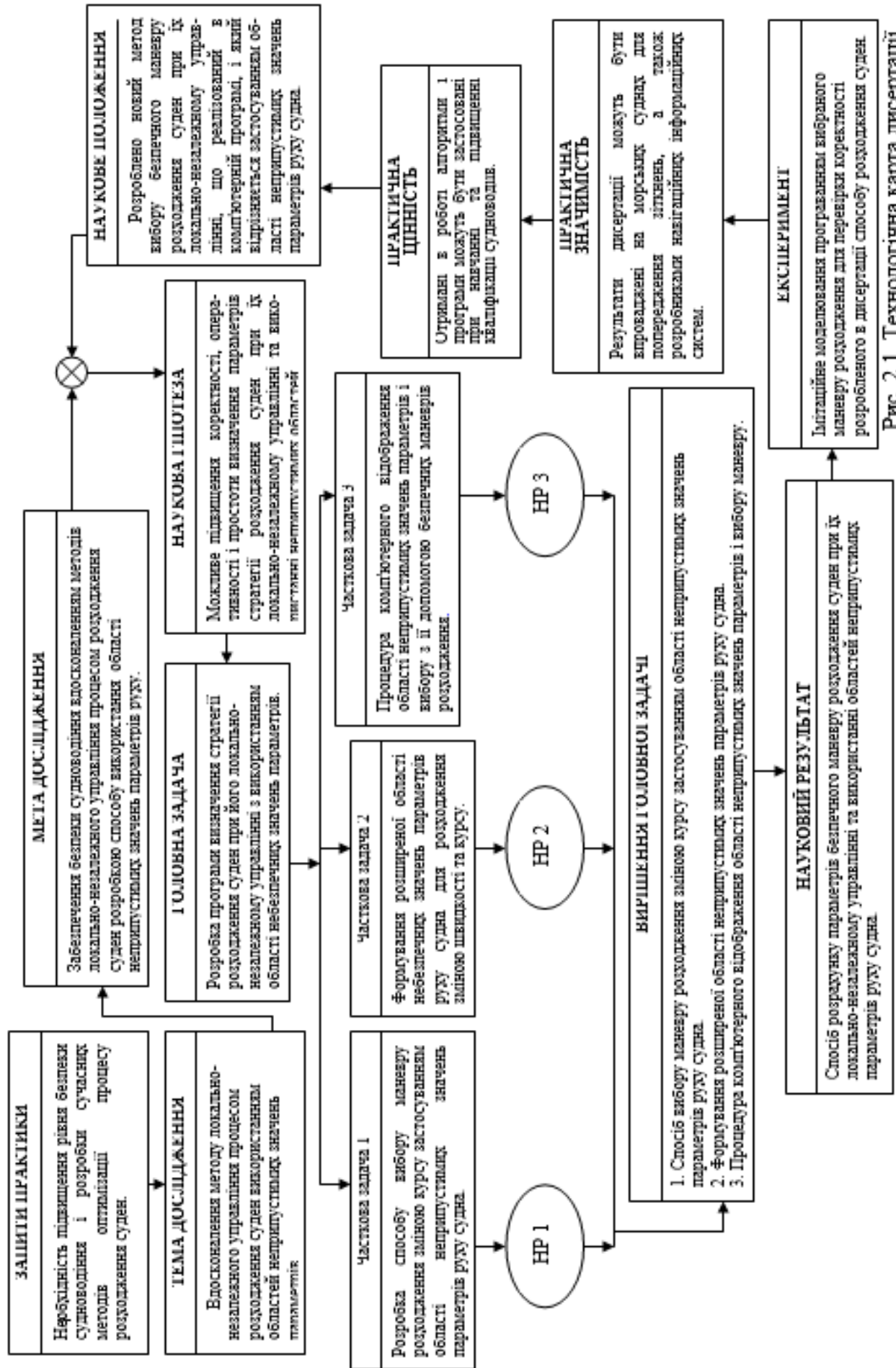


Рис. 2.1. Технологічна карта дисертації

2. Розробка способу формування розширеної області неприпустимих значень параметрів руху судна для розходження зміною його швидкості та курсу з урахуванням режиму гальмування при зниженні швидкості.

3. Розробка процедури комп'ютерного відображення областей неприпустимих значень параметрів руху судна і вибору з їх допомогою безпечних маневрів розходження.

Формалізація першої незалежної складової задачі вимагає, перш за все, пошуку аналітичних виразів для межі області неприпустимих параметрів руху судна для випадку, коли його швидкість перевищує швидкість цілі. Для ситуацій, в яких привалює швидкість цілі, слід запропонувати додаткову область, в якій межі завдаються в залежності від швидкості судна та відносного курсу. Для використання вказаних областей необхідно забезпечити їх відображення на екрані з допомогою комп'ютерної графіки. В цьому форматі повинно знаходитися визначення маневру ухилення судна. Тому слід розробити комп'ютерну процедуру, яка забезпечує можливість роботи з графічним відображенням областей неприпустимих параметрів руху судна з метою визначення параметрів маневру ухилення в ситуації небезпечного зближення судна з ціллю.

Формування розширеної області небезпечних значень параметрів руху судна для розходження з ціллю зміною швидкості та курсу і розрахунок її меж є другою незалежною складовою задачею дисертаційного дослідження. За визначенням областю неприпустимих значень параметрів руху судна є область в системі координат курсів і швидкостей судна, кожна крапка (значення швидкості і курсу судна) якої характеризується дистанцією найкоротшого зближення із значенням меншим гранично-допустимої дистанції. Рівняння меж області неприпустимих значень параметрів руху судна визначається рівнянням, яке в правій частині містить вираз для прогнозованої дистанції найкоротшого зближення, а в лівій частині – значення допустимої дистанції. Це рівняння потрібно перетворити, щоб одержати функціональну залежність курсу судна від його швидкості з урахуванням аналітичних виразів залежності

його пройденої відстані та інтервалу часу від параметрів активного та пасивного гальмування. Одержане рівняння і є рівнянням межі розширеної області небезпечних значень параметрів руху судна. Слід зазначити, що в кожній точці межі дотримується рівність прогнозованої дистанції найкоротшого зближення і допустимої дистанції.

Третя складова задача дисертаційного дослідження пов'язана з розробкою графічного способу комп'ютерного відображення областей неприпустимих значень параметрів руху судна і вибір з їх допомогою оптимального маневру розходження зміною курсу або/та швидкості судна. Вирішення вказаної задачі потребує розробки комп'ютерної програми, яка містить модулі розрахунку меж трьох областей неприпустимих значень параметрів руху судна, їх відображення на екрані монітора з метою вибору оптимального маневру розходження судна зміною параметрів руху з подальшим його програванням імітаційною програмою.

Така комп'ютерна програма може бути основою для розробки навігаційної інформаційної системи, що забезпечує вибір оптимального маневру розходження судна в умовах локально-незалежного керування.

Імітаційна програма повинна містити наступні модулі:

- модуль формування початкової ситуації небезпечного зближення судна з ціллю;
- модуль розрахунку меж областей неприпустимих значень параметрів руху судна і їх графічного відображення;
- модуль вибору оптимального маневру розходження судна зміною його курсу або/та швидкості, причому при виборі маневру зменшенням швидкості повинно бути передбачено два варіанти оптимізації маневру розходження з використанням зниження швидкості судна активним або пасивним гальмуванням;
- модуль відображення програвання вибраного маневру розходження з використанням комп'ютерної графіки.

При рішенні кожній з складових незалежних задач були одержані відповідні наукові результати, які на технологічній карті методологічного забезпечення дисертаційного дослідження позначені відповідно НР1, НР2 і НР3:

- науковим результатом першої складової задачі НР1 є спосіб вибору маневру розходження зміною курсу застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна;

- спосіб формування розширеної області неприпустимих значень параметрів руху судна є науковим результатом НР2 другої складової задачі;

- процедура комп'ютерного відображення області неприпустимих значень параметрів і вибору маневру розходження являється науковим результатом НР3 третьої складової задачі.

За допомогою розробленої комп'ютерної програми слід провести імітаційне моделювання для перевірки результатів дисертаційного дослідження в частині коректності розроблених способів вибору безпечного маневру розходження судна з ціллю зміною курсу або зниженням його початкової швидкості при застосуванні активного та пасивного гальмування.

Прийнята наукова гіпотеза про існування можливості підвищення коректності, оперативності і простоти визначення параметрів стратегії розходження суден при їх локально-незалежному управлінні та використанні небезпечних областей 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 упроваджені на судах для попередження зіткнень, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом розходження судна.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи визначається тим, що одержані в роботі теоретичні результати і програми можуть бути застосовані при навчанні і підвищенні кваліфікації судноводіїв.

Наукові результати і проведені імітаційне моделювання, одержані в дисертаційному дослідженні, визначають його наукове положення, що має наступне формулювання:

Розроблено новий метод вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній програмі, і який відрізняється застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна.

2.3. Методика проведення дисертаційного дослідження.

Змістом даного підрозділу є короткий виклад методики проведення дисертаційного дослідження з вказівкою вживаних для цього методів.

Згідно з рекомендаціями по організації і проведенню наукових досліджень за допомогою методів дедукції слід провести аналіз основних напрямків вирішення проблеми безпеки судноводіння, що обумовлює вибір основного напрямку і теми дисертаційного дослідження.

Другим етапом роботи являється декомпозиція головної задачі дисертації на декілька незалежних складових задач з допомогою методів дослідження операцій, які також забезпечують методологічне обґрунтування дисертаційного дослідження. В подальшому необхідно одержати аналітичні вирази для меж трьох областей небезпечних значень параметрів руху судна, причому при використанні маневру розходження зниженням швидкості судна слід знайти залежність зміни відносного курсу від зниження швидкості судна для оцінки прогнозованої дистанції найкоротшого зближення, зіставляючи яку з величиною допустимої дистанції зближення одержимо алгоритм формування області неприпустимих параметрів для визначення маневрів розходження зниженням швидкості судна. Для врахування впливу інерційно-гальмівних характеристик суден слід використовувати аналітичні вирази характеристик процесів активного і пасивного гальмування.

Черговим етапом виконання дисертаційної роботи є розробка процедури вибору безпечного маневру розходження. Слід врахувати ту обставину, що можливі три області неприпустимих параметрів: по-перше, при швидкості судна більшої швидкості цілі, та друга область, коли швидкості судна менша швидкості цілі; по-друге, третя область, коли гальмування судна починається в нульовий момент часу. Для кожної області слід розробити окрему процедуру вибору безпечного маневру розходження.

Завершальним етапом роботи є розробка модулю програмування маневру розходження зниженням швидкостей для перевірки коректності процедури вибору маневру розходження в заданій ситуації небезпечного зближення.

2.4. Висновки по другому розділу.

В другому розділі дисертаційної роботи проведено вибір теми дослідження і його основні напрямки. В розділі приведена технологічна карта дослідження, в якій розглянута методологічна структура дисертації і приведено її методологічне забезпечення.

Технологічна карта містить мету дисертаційного дослідження і його головну задачу, яка представлена трьома незалежними складовими задачами. Сформульована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження, причому показано, що при рішенні незалежних складових задач одержані відповідні наукові результати дисертаційної роботи. Приведені положення роботи, які мають наукову новизну, і вказані результати дослідження, що одержані вперше.

Також у другому розділі приведені значущість і практична цінність дисертаційного дослідження, які обумовлюють можливість впровадження практичних рекомендацій, одержаних в дисертаційній роботі, а також сформульоване основне наукове положення роботи.

Окремим підрозділом коротко розглянута методика рішення складових задач, які поставлені в дисертаційній роботі. Причому приведена методика не тільки описує основні етапи виконання наукового дослідження по темі дисертації, але і є узагальненим алгоритмом виконання дисертаційного дослідження, який включає теоретичні розробки з використанням сучасних методів аналітичного аналізу та проведення імітаційного комп'ютерного моделювання, яке підтверджує коректність одержаних способів і процедур визначення параметрів безпечних маневрів розходження судна з ціллю зміною курсу або швидкості.

РОЗДІЛ 3.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН ПРИ ЛОКАЛЬНО - НЕЗАЛЕЖНОМУ УПРАВЛІННІ

3.1. Опис процесу судноводіння.

Як вказується в роботі [123], процес судноводіння полягає в управлінні поточною навігаційною ситуацією для безпечної реалізації заданої програмної траєкторії руху в постійному навігаційному режимі.

У даному дисертаційному дослідженні під навігаційною ситуацією мається на увазі сукупність характеристик положення судна щодо рухомих об'єктів, навігаційних перешкод і заданої програмної траєкторії руху в деякому обмеженому, пов'язаному з судном районі плавання. Відзначимо, що навігаційна ситуація безперервно змінюється, як під впливом зовнішніх збурень і рухомих об'єктів, так і з боку самого базового судна. Отже, для контролю навігаційної ситуації і прийняття рішень потрібне її регулярне відображення, оцінка і, у разі потреби, формування управляючих дій [124, 91]. Тому процес судноводіння містить декілька послідовних етапів.

Для відображення навігаційної ситуації призначена система навігаційної інформації, за допомогою якої вимірюється сукупність навігаційних параметрів [6], які потім перетворюються в характеристики навігаційної ситуації. Відображена ситуація зіставляється з підмножинами допустимих і неприпустимих ситуацій, тобто проводиться її оцінка, і приймається рішення про необхідність корекції прогнозованої навігаційної ситуації. При необхідності корекції розраховуються величини управляючих дій, після реалізації яких через деякий інтервал часу періодично вимірюється сукупність параметрів, що характеризують навігаційну обстановку, і описаний цикл повторюється. Таким чином, процес судноводіння можна характеризувати як певну сукупність ци-

клічно повторюваних впорядкованих в часі операцій, до яких відносяться наступні:

1. Вибір приладів з системи навігаційної інформації для відображення навігаційної ситуації.
2. Вимірювання навігаційних параметрів за допомогою вибраних приладів.
3. Синтез навігаційної ситуації по сукупності виміряних навігаційних параметрів, - перетворення сукупності навігаційних параметрів в множину характеристик навігаційної ситуації;
4. Оцінка одержаної відображеної ситуації по існуючих критеріях і, у разі потреби, вибір управляючих дій.

На рис. 3.1. приведена ілюстрація алгоритму, що реалізовує запропонований цикл впорядкованих операцій по управлінню процесом судноводіння.

Процес судноводіння з урахуванням наявності навігаційних перешкод і рухомих об'єктів, що заважають, оцінюється відсутністю аварійних подій, і може бути виражений вірогідністю безаварійного плавання. Формальний вираз вірогідності безаварійного плавання залежно від істотних чинників зв'язаний з труднощами методологічного характеру, спроба подолання яких можлива методами системного підходу [125]. При опису процесу судноводіння в якості критерію оптимальності доцільно вибрати вірогідність безпечного плавання P_{bn} , що враховує можливі посадки судна на мілину і зіткнення з іншими суднами. Вибір структури вірогідності безпечного плавання P_{bn} обумовлений тим, що характеристики навігаційної ситуації складають дві підмножини що не перетинаються: одна з них залежить тільки від параметрів руху базового судна, а друга – як від параметрів руху базового судна, так і від параметрів руху навколишніх суден.

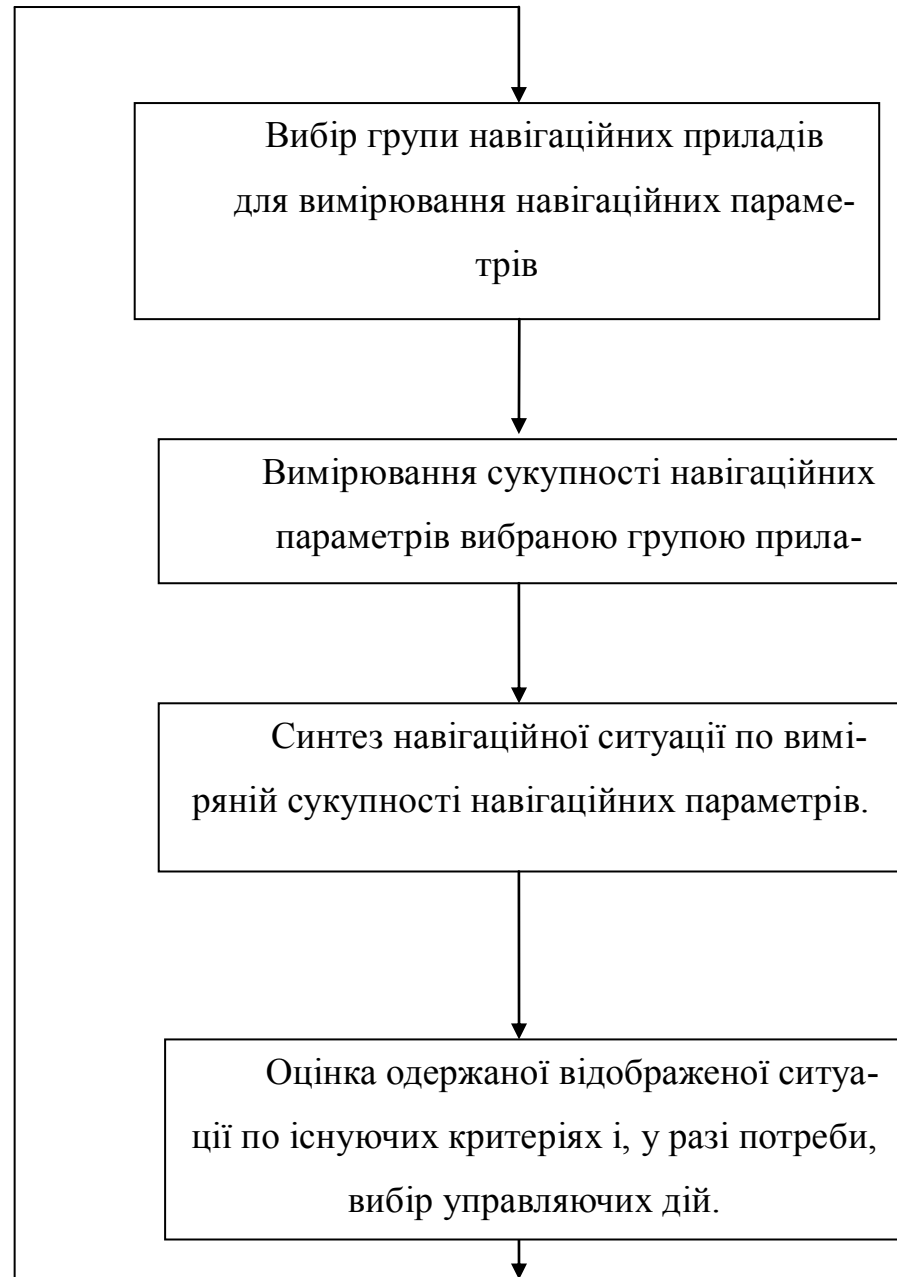


Рис. 3.1. Алгоритм управління процесом судноводіння

Отже, перша група параметрів навігаційної ситуації характеризує можливість посадки судна на мілину, а друга – зіткнення з іншими суднами. Вірогідність безпечного плавання P_{bn} є добутком вірогідності безаварійних розходжень і вірогідності відсутності посадки на мілину при плаванні в заданій безпечній області, тобто:

$$P_{bn} = P_{bn1} P_{bn2},$$

де P_{bn1} і P_{bn2} - відповідно вірогідність відсутності посадки судна на міліну і вірогідність безаварійних розходжень в районі плавання. Попередній аналіз показує, що вірогідність відсутності посадки судна на міліну P_{bn1} залежить від:

- форми межі і геометричних характеристик безпечної області плавання судна;
- розташування програмної траєкторії судна в безпечній області плавання;
- поточних характеристик переміщення судна щодо заданої програмної траєкторії під дією випадкових чинників.

На вірогідність P_{bn2} безаварійних розходжень в районі плавання судна впливають наступні чинники:

- відносні позиції навколишніх суден і параметри їх руху;
- точність прогнозу траєкторій руху навколишніх суден по відношенню до руху базового судна;
- вірогідність реалізації небезпечних траєкторій навколишніми суднами;
- співвідношення швидкостей базового судна з кожною з цілей, що визначає можливості управління навігаційною ситуацією базовим судном.

Основним засобом вимірювання сукупності навігаційних параметрів і синтезу навігаційної ситуації для прийняття рішень при реалізації процесу судноводіння являється система навігаційної інформації [126, 127]. Сукупність характеристик навігаційної ситуації позначимо через множину $\hat{G} = \{g_i\}$, яка складається з трьох підмножин що не перетинаються: $\hat{G}_1 = \{g_i\}_1$ - положення судна щодо рухомих об'єктів; $\hat{G}_2 = \{g_i\}_2$ - положення судна щодо навігаційних перешкод і $\hat{G}_3 = \{g_i\}_3$ - положення судна щодо заданої програмної траєкторії.

При цьому, очевидно: $\{g_i\} = \{g_i\}_1 \cup \{g_i\}_2 \cup \{g_i\}_3$. Навігаційна ситуація змінюється в часі, оскільки характеристики $\{g_i\}$ міняються залежно від параметрів руху, як базового судна, так і від параметрів руху і намірів навколишніх суден. На мінливість навігаційної ситуації впливають також і зовнішні збурення (вітер, течії, хвилювання і т. п.). Мінливість $\Delta \mathfrak{R}$ можна оцінити вектором похідних характеристик навігаційної ситуації за часом:

$$\Delta \mathfrak{R} = \left\{ \frac{\partial g_i}{\partial t} \right\}.$$

Для відображення навігаційної ситуації необхідно одержати інформацію про чисельні значення характеристик множини $\hat{G} = \{g_i\}$, для чого і призначена система навігаційної інформації. Слід зазначити, що характеристики підмножини $\hat{G}_1$ вимірюються безпосередньо, а характеристики підмножин $\hat{G}_2$ і $\hat{G}_3$ визначаються за наслідками опосередкованих вимірювань [128]. Система навігаційної інформації для відображення навігаційної ситуації повинна забезпечити вимірювання множини навігаційних параметрів і перетворити їх в множину характеристик навігаційної ситуації, або, іншими словами, синтезувати навігаційну ситуацію по одержаних навігаційних параметрах. Тому система навігаційної інформації разом із засобами вимірювання навігаційних параметрів повинна містити також засоби синтезу навігаційної ситуації. Для прийняття рішень в процесі судноводіння слід здійснювати прогноз навігаційної ситуації. Для цього використовується відображена навігаційна ситуація, її мінливість, методи і засоби прогнозу. Тому задача прогнозу також відноситься до функцій системи навігаційної інформації.

Таким чином, система навігаційної інформації в своєму складі повинна містити підмножину M_{np} засобів вимірювання навігаційних параметрів, підмножину M_{cn} засобів і методів синтезу відображеної навігаційної ситуації і підмножину M_{pr} засобів і методів прогнозу навігаційної ситуації. Отже, система навігаційної інформації повинна задовольняти принципу відповідності, тобто в її складі повинні бути всі групи приладів, що дозволяють зміряти на-

вігаційні параметри, синтезувати відображену навігаційну ситуацію і здійснити прогноз навігаційної ситуації із заданою глибиною прогнозу, при цьому система навігаційної інформації повинна мати необхідне методичне забезпечення для вирішення поставлених задач. Згідно принципу відповідності склад системи навігаційної інформації повинен відповідати структурі навігаційної обстановки.

Розглянемо другий дуже важливий аспект аналізованої задачі, який характеризує ступінь успішного рішення задачі відображення навігаційної ситуації за умови виконання принципу відповідності. Виконання операцій вимірювання необхідних параметрів, синтезу і прогнозу навігаційної ситуації вимагає певних витрат часу Δt . Тому навіть без урахування глибини прогнозу ситуація, що відображається, відповідатиме (з точністю зміряних параметрів) навігаційній ситуації, інформація про яку застаріла на якийсь час Δt . Враховуючи, що невизначеність навігаційної ситуації H пропорційна початковій невизначеності H_0 , мінливості навігаційної ситуації $\Delta \mathcal{R}$ і питомій невизначеності dH тобто

$$H = H_0 + dH \Delta \mathcal{R} \Delta t,$$

то істотним стає середній час, який визначає максимальне значення невизначеності навігаційної ситуації. Відзначимо, що характеристики H_0 , dH і Δt відносяться до системи навігаційної інформації, тому вона повинна задовольняти принципу достатності, згідно якому склад і характеристики H_0 , dH і Δt системи навігаційної інформації при найбільшій мінливості навігаційної ситуації $\Delta \mathcal{R}_{\max}$ забезпечують задане обмеження невизначеності H_d :

$$H(\Delta \mathcal{R}_{\max}, H_0, dH, \Delta t) < H_d.$$

Очевидно, що ефективність системи навігаційної інформації тим вище, чим менша поточна невизначеність H відображеної навігаційної обстановки і чим вища вірогідність отримання інформації у будь-який момент часу, яку однозначно визначає її коефіцієнт готовності K_r [129]. Отже, критерій ефек-

тивності системи навігаційної інформації E повинен бути пропорційним її коефіцієнту готовності K_r і обернено пропорційним невизначеності H , тобто

$$E = \frac{K_r}{H}.$$

У реальних умовах плавання в районах інтенсивного судноплавства вимагається здійснювати постійне спостереження за навколишніми суднами з метою завчасного виявлення ситуації небезпечного зближення. Тому потрібні подальші дослідження, направлені на формалізацію процесу аналізу поточної ситуації, виділення груп суден по ступеню їх небезпеки і обґрунтування частоти контролю поточної ситуації.

Припустимо, в районі плавання базового судна знаходиться n цілей, які створюють множину M , причому кожна з цілей характеризується позицією щодо базового судна, - пеленгом α_i і дистанцією l_i , а також параметрами істинного руху швидкістю V_i і курсом K_i . Тому поточну ситуацію можна формалізувати за допомогою n – мірного вектора Q , причому кожне вимірювання q_i містить чотири компоненти $q_i = (\alpha_i, l_i, V_i, K_i)$. Декомпозицію множини цілей M доцільно проводити залежно від ступеня небезпеки зіткнення базового судна з кожною з них. У першу підмножину цілей M_1 слід віднести ті цілі, які віддаляються від базового судна, причому при будь-якій зміні курсу цілі даної підмножини і незмінних параметрах руху базового судна дистанція l_i не зменшується. До другої підмножини цілей M_2 віднесемо ті цілі, дистанція l_i до яких збільшується, проте, при незмінних параметрах руху цілі цієї підмножини для будь-яких курсів базового судна K_0 дистанція l_i не зменшується. Третя підмножина цілей M_3 також характеризується тим, що дистанція l_i до них збільшується, однак вони не належать до підмножин M_1 та M_2 .

Для решти підмножин цілей характерне те, що вони зближуються з базовим судном, проте їх можна диференціювати по ознаці небезпеки зіткнення. Відомо, що ступінь небезпеки зближення суден характеризують гранично – допустимою дистанцією найкоротшого зближення. У роботах [2, 55] пропо-

нується розглядати два значення гранично – допустимої дистанції найкоротшого зближення для випадків звичного і екстреного маневрування, які позначені відповідно через l_{1d} і l_{2d} . До четвертої підмножини M_4 віднесемо цілі, дистанція l_i до яких зменшується, проте дистанція найкоротшого зближення $l_{i\min}$ більше гранично – допустимої дистанції, тобто відносно переміщення суден не є небезпечним. До подальших підмножин належать тільки ті цілі, які створюють небезпеку зіткнення. Чергова, п'ята, підмножина M_5 містить цілі, з якими судно знаходиться в першій області взаємних обов'язків, тобто у поточний момент часу базове судно може не робити маневру для розходження (наприклад, його маневр буде малопомітним). До шостої підмножини M_6 відносяться такі цілі, які знаходяться в другій області взаємних обов'язків, в якій базове судно повинне поступитися дорогою, а судно ціль – слідувати з незмінними параметрами руху. Цілі, що знаходяться в третій області взаємних обов'язків, в якій базове судно зобов'язане поступитися дорогою, а судно ціль, якщо визнає необхідним, може зробити маневр розходження, формують сьому підмножину M_7 . Восьму підмножину M_8 складають цілі, які знаходяться в четвертій області взаємних обов'язків, - області екстреного маневрування, коли обидва взаємодіючі судна повинні вжити терміновим заходам для запобігання зіткненню.

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

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

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

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

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

Приведемо аналітичні вирази для декомпозиції початкової множини суден M на підмножини по розглянутих ознаках. У роботі [55] показано, що при $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) > 0$, поточна дистанція між судном і цілю скорочується, а при $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) < 0$ поточна дистанція збільшується. Тому для декомпозиції початкової множини потрібно для кожної з цілей виконати аналіз знаку виразу $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni})$. Для цілей, у яких $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) < 0$, тобто для підмножин M_1 , M_2 і M_3 , параметром подальшої декомпозиції є можливість змінити знак виразу $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni})$ шляхом зміни курсів цілю або базовим судном. Якщо швидкість цілі V_i не перевершуватиме проекцію швидкості базового судна V_o на напрям пеленга, то ціль не зможе скорочувати відстань до базового судна, тобто повинен бути справедливим вираз $V_i < V_o \cos(K_o - \alpha_{ni})$.

В цьому випадку ціль, що відповідає приведеній умові, відноситиметься до першої підмножини M_1 . Аналогічно, базове судно не зможе скоротити дистанцію до цілі, якщо його швидкість буде менш проекції швидкості цілі на напрям пеленгу, тобто буде мати місце наступне нерівняння $V_o < V_i \cos(K_o - \alpha_{ni})$. Вочевидь, що всі цілі, для яких справедливо це співвідношення належать до підмножини цілій M_2 . Якщо параметри цілі не задовольняють ні однієї з цих умов $V_i < V_o \cos(K_o - \alpha_{ni})$ та $V_o < V_i \cos(K_o - \alpha_{ni})$, то ціль

належить до підмножини M_3 , коли результаті маневру базового судна або цілі можливо скорочення відстані, яке спочатку збільшувалась. Подальша декомпозиція передбачає отримання підмножин цілей, які зближуються з базовим судном. Відповідним параметром є співвідношення дистанцій найкоротшого зближення $l_{i \min}$ і гранично-допустимої дистанції l_{ld} . Причому, якщо має місце нерівність $l_{i \min} > l_{ld}$, то ціль відноситься до підмножини M_4 . З урахуванням того, що дистанція найкоротшого зближення $l_{i \min}$ визначається відомим виразом [2]:

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

умова приналежності цілі підмножині M_4 приймає вигляд:

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

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

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

де V_{oti} - відносна швидкість з i -ю цілю.

Якщо справедлива нерівність $\frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i1}$, то ціль належить до підмножини M_5 . У разі справедливості умови $\frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i2}$ ціль належить підмножині M_6 , яка характеризує другу область взаємних обов'язків

суден. Якщо виконується умова $t_{i2} > \frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i3}$, то ціль належить підмножині M_7 . Приналежність цілі до останньої з даних підмножин M_8 визначається справедливістю нерівності $t_{i3} > \frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}}$, що відносяться до цілей, що знаходяться в області екстреного маневрування.

Таким чином, кожне з оточуючих судно цілей належить до однієї з восьми розглянутих підмножин що не перетинаються, впорядкованих по ступеню небезпеки, належних до судна цілей.

3.2. Принцип локально - незалежного управління процесом розходження.

Кожне з суден характеризується двовимірною областю неприпустимих позицій, в якій небажане перебування будь-яких сторонніх об'єктів. У відносному переміщенні суден такими об'єктами є інші навколишні судна. Область неприпустимих позицій сформована таким чином, що її межа відповідає нульовій вірогідності зіткнення, а кожній крапці усередині цієї області відповідає деяка відмінна від нуля вірогідність виникнення зіткнення. Причому з скороченням найкоротшої дистанції між судами відбувається зростання вірогідності зіткнення суден.

У разі прогнозованого попадання суден в область неприпустимих позицій виникає ситуативне збурення ω , яке виявляє прийдешню небезпечну позицію завчасно, виходячи з прогнозу зміни відносної позиції пари суден. Отже, ситуативне збурення носить умовний характер, тому що можливі дії суден і спосіб прогнозу ситуації зближення впливають на його незмінність. Після виникнення ситуативного збурення необхідно його компенсувати маневром розходження.

В даний час основним принципом компенсації ситуативного збурення є локально - незалежне управління процесом розходження, суть якого полягає в

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

При появі ситуативного збурення ω між суднами виникає взаємодія B_z , яка програмну ділянку відносного руху з ситуативним збуренням трансформує у відносно безпечну траєкторію. Взаємодія B_z прогнозує поведінку судів при розходженні та виробляє адресні узгоджені стратегії G_1 і G_2 кожному із взаємодіючих суден.

Тому взаємодія B_z формально записується таким чином [93]:

$$G = B_z(F),$$

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

Взаємодією судів B_z є відображення параметрів стану системи двох суден, що зближуються, в множину параметрів стратегії розходження G , причому взаємодія B_z містить два оператори: Crd – координації маневрів і Prm – розрахунку їх параметрів.

Взаємодія B_z є важливим чинником, що впливає на безпеку розходження, оскільки є механізмом узгодження по досягненню загальної мети попередження небезпечного зближення, яка визначає поведінку кожного з суден в процесі розходження і прогнозує зміну ситуації. Таким чином, процес розходження є процесом компенсації ситуативного збурення, згідно механізму взаємодії B_z , а стратегія розходження G є алгоритмом реалізації процесу розходження.

Реалізація взаємодії B_z забезпечується за допомогою системи бінарної координації (або координатора) $c_o(B_z)$, на вхід якого подається вектор стану F , а виходом є адресні сигнали β_1 і β_2 взаємодіючим судам c_1 і c_2 (рис. 3.2).

У свою чергу, кожний з сигналів β_i містить координуючий сигнал γ_i і сигнал зв'язку μ_i .

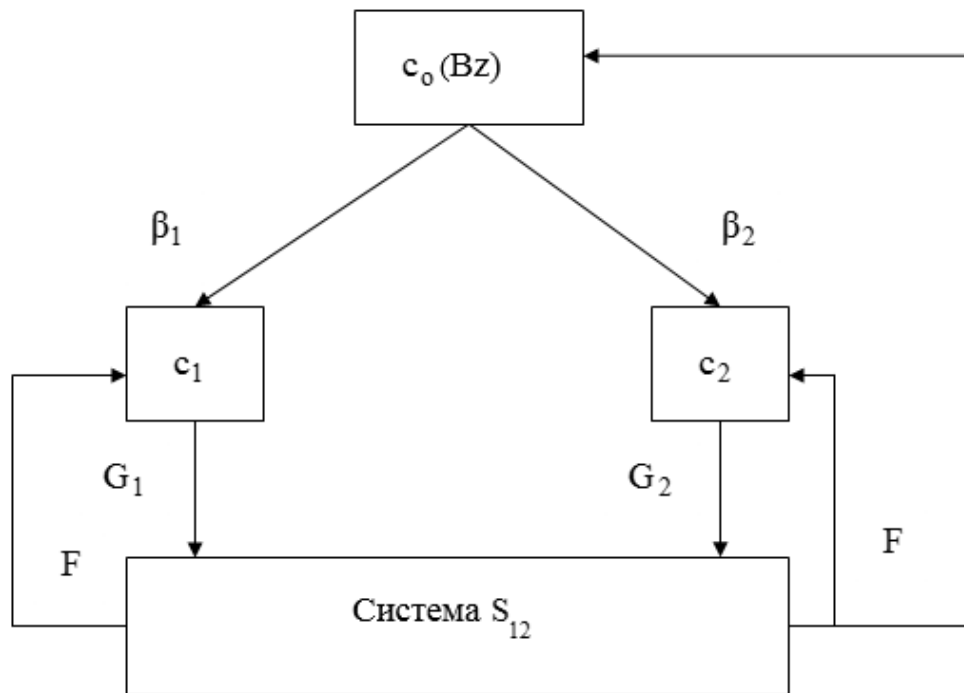


Рис. 3.2. Незалежне управління системою S_{12}

Координуючі сигнали γ_i визначають кожному з суден підмножину курсів ухилення, які забезпечують узгодженість маневрів розходження, а сигнали зв'язку μ_i містять інформацію кожному судну про прогнозовану поведінку іншого судна. Причому, $\mu_1 = \gamma_2$ і $\mu_2 = \gamma_1$. Кожен координуючий сигнал γ_i має три складові: сигнал q_{1i} , який містить інформацію для кожного з суден про наявність пріоритету, що вказується координатором, а сигнали q_{2i} і q_{3i} регламентують взаємодіючим суднам можливість ухилення відповідно управо і вліво. Приведені сигнали мають наступні значення:

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

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

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

$q_{2i} = -1$, якщо координатор забороняє поворот управо;

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

$q_{3i} = -1$, якщо координатор забороняє поворот вліво.

За допомогою адресного сигналу β_i і вектора стану F кожне з суден

c_i вибирає оптимальний маневру розходження G_i з допустимої підмножини курсів ухилення, яке регламентується координуючим сигналом γ_i .

Очевидно, що ситуативне збурення ω виникає тоді, коли прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ менше значення гранично-допустимої дистанції зближення, величина якої залежить від форми області неприпустимих позицій і ракурсу зближення суден. Отже, ситуативне збурення має місце, коли базове судно зближується з цілю, що належить до підмножин M_5 , M_6 , M_7 і M_8 .

Звертаємо увагу на наступну істотну обставину, яка пов'язана з можливістю базового судна управляти ситуацією небезпечного зближення. У роботі [55] показано, що можливість управління ситуацією небезпечного зближення багато в чому визначається відношенням швидкостей базового судна V_o і цілі V_i . У випадку $V_o > V_i$ базове судно зміною курсу K_o може забезпечити будь-який відносний курс i , отже, максимальне значення дистанції найкоротшого зближення $\max D_{\min}$ (без урахування динаміки судна) рівне дистанції до цілі, тобто $\max D_{\min} = D_{ni}$. Для цього базове судно повинне слідувати відносним курсом, який на 90° відрізняється від пеленга на ціль. Ситуація змінюється при $V_o < V_i$, в цьому випадку базове судно може змінювати відносний курс в межах від K_{otmin} до K_{otmax} . Отже, величина $\max D_{\min}$ може приймати два значення [55]:

$$\max D_{\min}^{(mx)} = \text{Abs}[D \sin(K_{otmax} - \alpha)];$$

$$\max D_{\min}^{(mn)} = \text{Abs}[D \sin(K_{\text{otmin}} - \alpha)],$$

де $K_{\text{otmin}} = \pi + K_i - \arcsin \rho$, $K_{\text{otmax}} = \pi + K_i + \arcsin \rho$ и $\rho = V_o / V_i$.

Виходячи з вищевикладеного ситуативне збурення ω може приймати наступні значення:

$$\omega = \begin{cases} 0, D_{\min} > D_d, \\ 1, D_{\min} \leq D_d, \max D_{\min}^{(mx)} \geq D_d, \max D_{\min}^{(mn)} \geq D_d, \\ 2, D_{\min} \leq D_d, \max D_{\min}^{(mx)} \geq D_d, \max D_{\min}^{(mn)} < D_d, \\ 3, D_{\min} \leq D_d, \max D_{\min}^{(mx)} < D_d, \max D_{\min}^{(mn)} \geq D_d, \\ 4, D_{\min} \leq D_d, \max D_{\min}^{(mx)} < D_d, \max D_{\min}^{(mn)} < D_d. \end{cases}$$

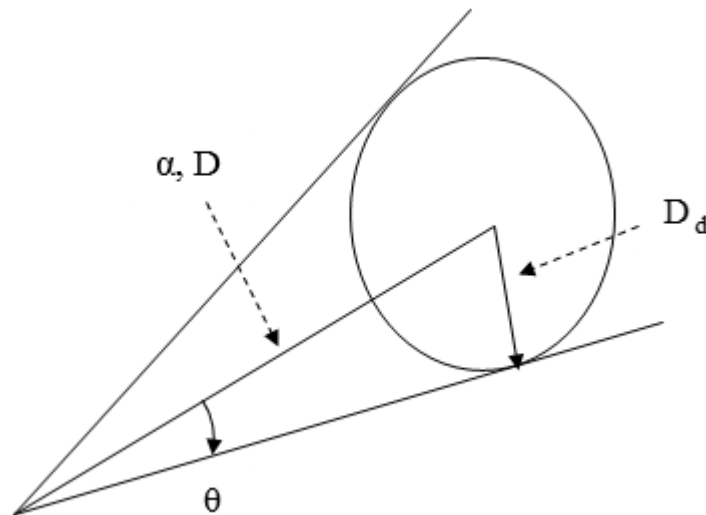
Як показує аналіз одержаного виразу, ситуативне збурення $\omega = 1$, у разі коли базове судно може розійтися з цілю на дистанції D_d , як ухиленням управо, так і ухиленням вліво. Якщо розходження на дистанції D_d можлива тільки відносним ухиленням управо, то $\omega = 2$. Ситуативне збурення $\omega = 3$ у випадку, якщо тільки при ухиленні вліво можливе розходження на дистанції D_d . Якщо ж розходження на дистанції D_d неможливе зміною курсу активного судна, то ситуативне збурення $\omega = 4$.

3.3. Система координації при взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення.

Після виникнення ситуативного збурення ω необхідно його компенсувати, застосовуючи стратегію розходження G , яка забезпечує збільшення дистанції найкоротшого зближення між суднами до величини $D_{\min y} \geq D_d$. При цьому стратегія може містити маневр розходження як одного, так і обох суден. Як раніше наголошувалося, узгодження маневрів взаємодіючих суден здійснюється системою бінарної координації $c_o(Bz)$, яка

є засобом для опису тенденції поведінки пари взаємодіючих суден при виникненні ситуативного збурення з метою його компенсації. В якості маневру розходження розглядається маневр зміною курсу судна. Вочевидь що, система $c_o(Bz)$ складається з двох частин залежно від значення ситуативного збурення, що реалізувалося ω : стандартна взаємодія при $\omega \leq 3$, коли базове судно може розійтися з небезпечною цілю в гранично-допустимій дистанції D_d , і екстрене розходження, коли $\omega = 4$. Спочатку розглянемо ситуацію стандартної взаємодії.

Перш за все, система бінарної координації $c_o(Bz)$ повинна задовольняти закону необхідної різноманітності Ешбі [130], 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. У даному випадку це значить, що система $c_o(Bz)$ повинна мати в своєму розпорядженні потенційну можливість компенсації ситуативного збурення у всіх випадках при $\omega \leq 3$. З одного боку ситуативне збурення характеризується множиною неприпустимих відносних курсів M_d , при яких існує небезпека зіткнення, а з другого боку система бінарної координації $c_o(Bz)$ має можливість сформувати множину безпечних відносних курсів M_s . Небезпека зіткнення буде попереджена і ситуативне збурення буде компенсоване, якщо множина неприпустимих відносних курсів M_d буде включена в множину безпечних відносних курсів, тобто $M_d \subset M_s$. Це означає існування безпечних відносних курсів, що дозволяють реалізувати стратегію розходження G з урахуванням вимоги закону необхідної різноманітності Ешбі. При ситуативному збуренні початковий відносний курс належить множині M_d , яка, як показано на рис. 3.3, укладена в межах $M_d = (\alpha - \theta, \alpha + \theta)$, де $\theta = \arcsin \frac{D_d}{D}$.

Рис. 3.3. Визначення множини M_d

Множину M_d можна показати дугою $d = 2 \arcsin \frac{D_d}{D} = 2\theta$, причому $d < \pi$. Розглянемо множину безпечних відносних курсів M_s , відповідне маневруванню кожного з суден c_1 і c_2 . При маневруванні судна з більшою швидкістю c_2 зміна його курсу на 2π веде до зміни відносного курсу, як показано в [55], також на 2π . Якщо ж маневрує судно з меншою швидкістю, то відносний курс змінюється в межах від $K_{otmin} = \pi + K_2 - \arcsin p$ до $K_{otmax} = \pi + K_2 + \arcsin p$. Отже, множина відносних курсів при маневруванні судна c_1 характеризується дугою $s = 2 \arcsin p < \pi$.

Таким чином, при маневруванні судна c_2 множина $M_s = 2\pi$ і $M_d \subset M_s$, чого не можна стверджувати у разі маневрування судна c_1 . Закон необхідної різноманітності Ешбі виконується, якщо система бінарної координати $c_o(Bz)$ передбачає компенсацію ситуативного збурення наступними способами:

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

Судно, якому система $c_o(Bz)$ передбачає виконання маневру розходження, називатимемо активним, а судно, що зберігає незмінними параметри руху, - пасивним.

При першому способі компенсація ситуативного збурення здійснюється двома активними суднами. В цьому випадку необхідне узгодження маневрів розходження обох суден, тобто їх координація. Очевидно, що координація забезпечує збільшення дистанції найкоротшого зближення при виконанні маневрів розходження суден. Це відбувається, як показано на рис. 3.4, для суден, що зближуються, на зустрічних курсах, при зміні їх початкових курсів в одну сторону (наприклад, збільшення курсів обох суден). У разі зближення суден на попутних курсах для координації маневрів розходження необхідна зміна курсів суден в різні сторони, наприклад, судно c_1 збільшує курс, а судно c_2 - його зменшує. Звертаємо увагу, що зміна дистанції найкоротшого зближення D_{min} визначається складовою сумарної швидкості суден $V_2 \sin(K_{2y} - \alpha) - V_1 \sin(K_{1y} - \alpha)$, яка перпендикулярна до лінії пеленгу. Вказана швидкість збільшується, якщо складові швидкості суден мають різні знаки, чим і обґрунтовані висновки по координації маневрів розходження двох активних суден.

У другому способі компенсація ситуативного збурення проводиться одним судном, тобто маневр розходження виконується одним із суден, тоді як інше судно зберігає незмінні параметри руху. В цьому випадку не виникає необхідність в координації. Система бінарної координації $c_o(Bz)$ повинна враховувати зближення суден з урахуванням їх статусу, причому судно з більшим статусом, як правило, перевершує по швидкості судно з меншим статусом.

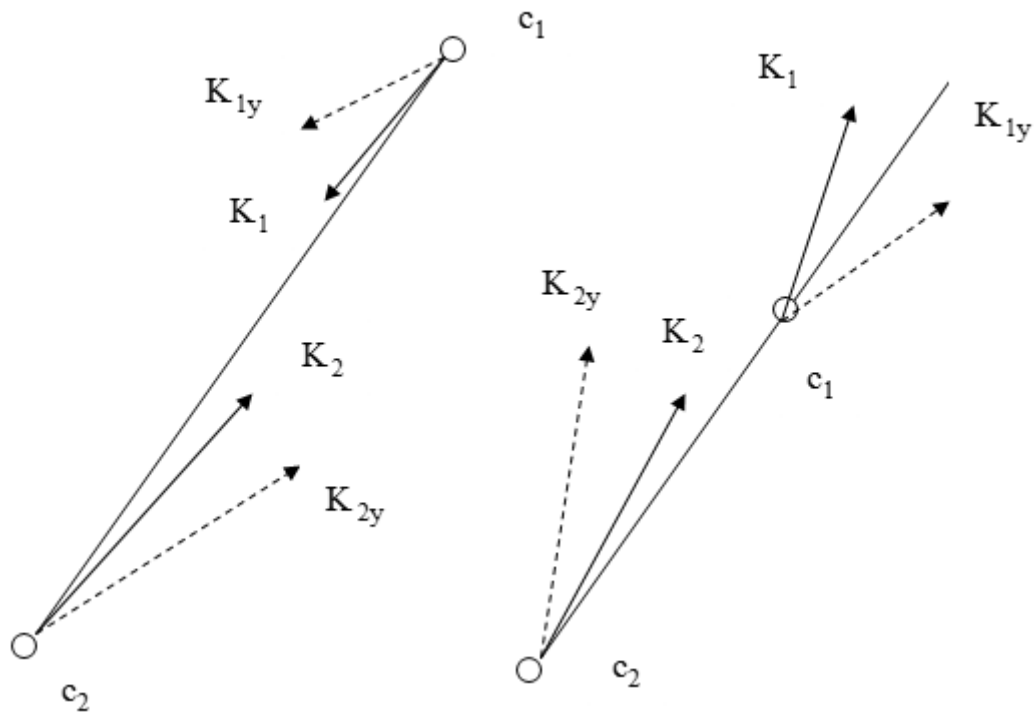


Рис. 3.4. Координація маневрів розходження суден

З урахуванням вищевикладеного доцільно запропонувати наступну структуру системи $c_o(Bz)$ для випадку $\omega \leq 3$, яка визначає стандартне розходження суден. При цьому координатор $c_o(Bz)$ формує координуючі сигнали γ_1 і γ_2 , а також сигнали зв'язку $\mu_1 = \gamma_2$ і $\mu_2 = \gamma_1$.

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

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

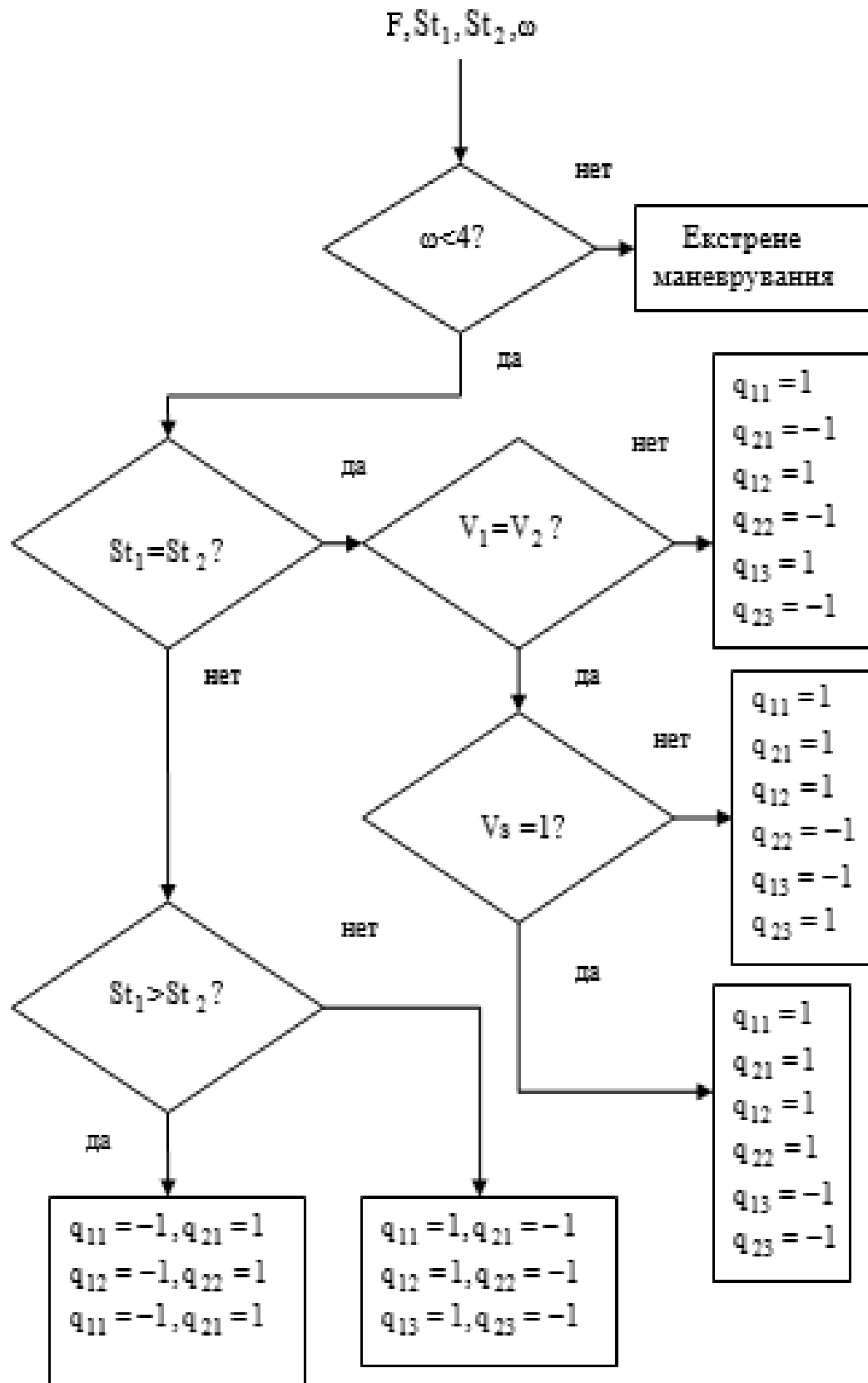
Якщо статуси суден не рівні, то судно з вищим статусом є пасивним, а інше судно – активним. У разі однакових статусів $St_1 = St_2$ визначальним параметром пропонується швидкість суден. В цьому випадку судно з вищою швидкістю c_2 є активним, а судно c_1 - пасивним. У разі рівності швидкостей $V_2 = V_1$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

У випадку, коли $\omega = 4$, координатор $c_o(Bz)$ вимагає компенсацію ситуативного збурення екстремим маневруванням, яке детально описане в роботі [97]. Структура системи координації $c_o(Bz)$ показана на рис. 3.5, на якому через V_s позначена змінна, що вказує на яких курсах відбувається зближення суден: якщо зближення відбувається на зустрічних курсах, то $V_s = 1$. У разі зближення на попутних курсах $V_s = 0$.

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

- зближення суден з різним статусом $St_1 > St_2$ і $St_1 < St_2$;
- зближення суден, що мають однаковий статус $St_1 = St_2$ з різними швидкостями $V_1 < V_2$;
- зближення суден однакового статусу $St_1 = St_2$, з однаковими швидкостями $V_1 = V_2$ на стрічних курсах $V_s = 1$;
- зближення суден рівного статусу $St_1 = St_2$, з однаковими швидкостями $V_1 = V_2$ на попутних курсах $V_s = 0$;
- зближення суден в ситуації екстреного розходження при $\omega = 4$.

Для кожної з перерахованих ситуацій передбачена стратегія розходження, що містить координовані маневри. Таким чином, запропонована система координації $c_o(Bz)$ задовольняє вимозі повноти. Черговою характеристикою координатора $c_o(Bz)$ є невизначеність в оцінці ситуації небезпечного зближення і поведінки суден для компенсації ситуативного збурення. У запропонованій системі бінарної координації значення виникаючого ситуативного збурення оцінюється обома суднами ідентично, враховуючи співвідношення їх статусів і швидкостей. Тому ситуація зближення і можливе ситуативне збурення, як і взаємні обов'язки, обома суднами визначаються однаково, що гарантує відсутність невизначеності в запропонованій системі бінарної координації.

Рис. 3.5. Структура системи координати $c_o(Bz)$

3.4. Система координації взаємодії трьох суден.

При плаванні суден в стислих водах інколи виникає ситуація небезпечно-го зближення трьох суден, в якій існуюча бінарна координація може повести до некоректного результату з невизначеним результатом, внаслідок чого виникає загроза зіткнення суден, що небезпечно зближуються. Розглянемо можливість формування системи координації для таких ситуацій. Припустимо, виникає група з трьох суден c_1 , c_2 і c_3 , в якій два і більше ситуативні збурення відмінні від нуля, причому $V_1 \geq V_2 \geq V_3$, а $\rho_{12} \geq \rho_{13} \geq \rho_{23}$. Розглянемо можливі маневри, що задовольняють вимозі закону необхідної різноманітності Ешбі. Для цього спочатку розглянемо множину безпечних відносних курсів M_{si} для кожного з суден. Судну c_1 характерні співвідношення $\rho_{12} \geq 1$ і $\rho_{13} \geq 1$, тому по відношенню до обох суден при $V_1 > V_2 > V_3$ множина $M_{s1} = s_1 = 2\pi$. Якщо хоча б одна з швидкостей суден c_2 і c_3 рівна швидкості V_1 , то $M_{s1} = s_1 = \pi$.

Для судна c_2 справедлива нерівність $\rho_{21} \leq 1$ і $\rho_{23} \geq 1$, з чого виходить, що по відношенню до обох суден $M_{s2} = s_2 \leq \pi$. Судну c_3 характерно $\rho_{31} \leq 1$ і $\rho_{23} \leq 1$, тому $M_{s3} = s_3 \leq \pi$. Множина неприпустимих відносних курсів M_d визначається аналогічно для кожного із суден і є об'єднанням підмножин неприпустимих відносних курсів щодо інших двох суден. Так, наприклад, для судна c_1 множина $M_{d1} = M_{d1}^{(2)} \cup M_{d1}^{(3)}$. Тут $M_{d1}^{(2)} = 2\arcsin \frac{D_d}{D_{12}}$ - підмножина неприпустимих відносних курсів, що виникають через небезпечне зближення судна c_1 з судном c_2 , причому D_{12} - відстань між суднами c_1 та c_2 . В свою чергу, $M_{d1}^{(3)} = 2\arcsin \frac{D_d}{D_{13}}$ - підмножина неприпустимих відносних курсів при небезпечному зближенні судів c_1 і c_3 .

На рис. 3.6 показані можливі варіанти об'єднання підмножин $M_{d1}^{(2)}$ і $M_{d1}^{(3)}$.

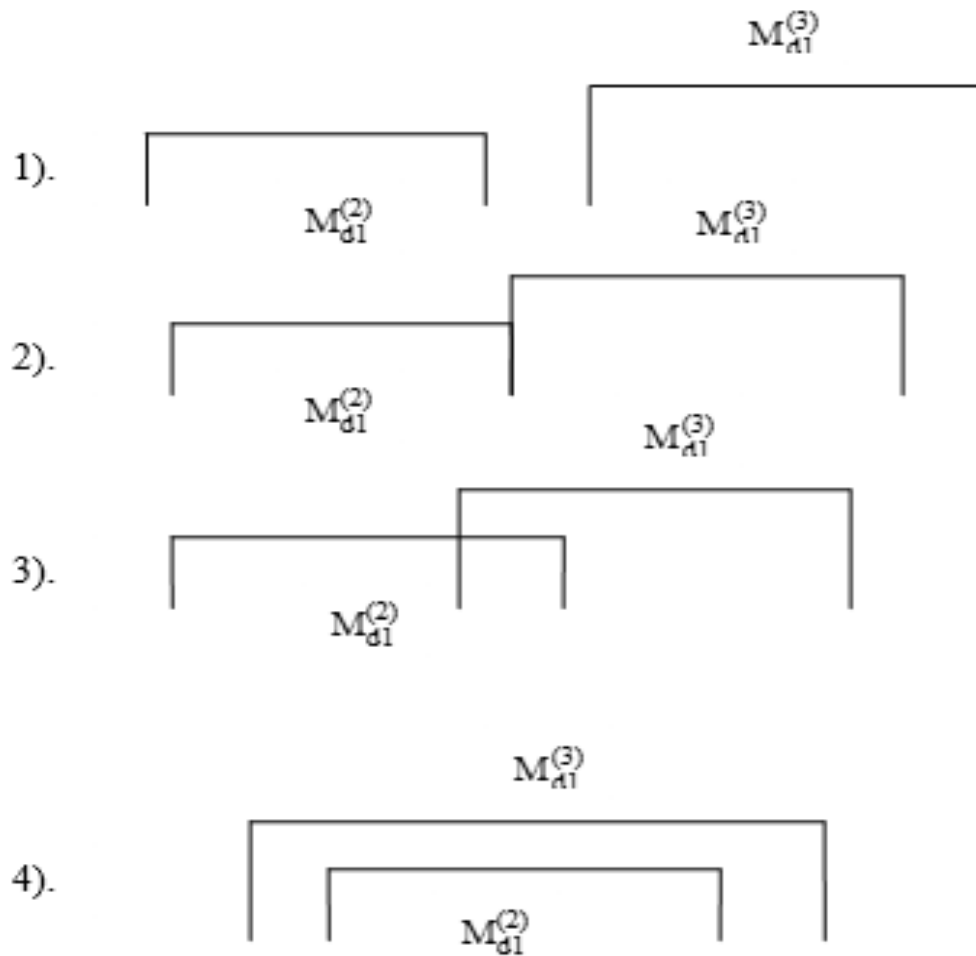


Рис. 3.6. Можливі варіанти об'єднання підмножин $M_{d1}^{(2)}$ і $M_{d1}^{(3)}$

Як випливає з даного рисунку, найменш сприятливим є варіант 2 об'єднання, при реалізації якого у випадку $D_{12} = D_{13} = D_d$ величина $M_{d1} = d_1 = 2\pi$. Аналогічно найменш сприятливі значення d_2 і d_3 також рівні 2π . Оскільки при ситуативному збуренні $\omega \leq 3$ значення $D_{ij} < D_d$, тому $d_i < 2\pi$. В цьому випадку закон необхідної різноманітності Ешбі, згідно якому $d_i \subset s_i$, буде справедливий при маневруванні судна s_1 , або при одночасному маневруванні суден s_2 і s_3 . Розглянемо можливі поєднання ситуативних збурень ω_{ij} при небезпечному зближенні трьох суден. При цьому враховуємо, що не менше двох ситуативних збурень ω_{ij} повинно відрізнятися від нуля. Іншими слова-

ми, кожне з ситуативних збурень ω_{12} , ω_{13} і ω_{23} може приймати значення 0, 1 і 2, проте в поєднанні трьох ситуативних збурень тільки одне з них може приймати значення рівне 0.

У табл. 3.1 приведені можливі поєднання ситуативних збурень ω_{12} , ω_{13} і ω_{23} , виникаючих в ситуації небезпечного зближення.

Таблиця 3.1

Можливі поєднання ситуативних збурень				
№ поєднання	ω_{12}	ω_{13}	ω_{23}	Області
1	1	1	0	A
2	1	0	1	B
3	0	1	1	B
4	1	1	1	B
5	1	2	0	C
6	2	1	0	C
7	1	0	2	C
8	2	0	1	C
9	0	1	2	C
10	0	2	1	C
11	1	1	2	C
12	1	2	1	C
13	2	1	1	C
14	2	2	0	D
15	2	0	2	D
16	0	2	2	D
17	2	2	1	D
18	2	1	2	D
19	1	2	2	D
20	2	2	2	D

Як показано в табл. 3.1, всього можливі 17 поєднань ситуативних збурень, причому в 9 поєднаннях одне з ситуативних збурень ω_{ij} приймає значення рівне 0. Аналіз таблиці показує, що в ситуаціях 1...4, коли в поєднаннях ситуативних збурень їх значення не перевершують 1, безпечно розход-

ження можливе стандартним маневром одного або двох суден. Тому для поєднання 1 необхідна різноманітність маневрів досягається маневром судна c_1 з найбільшою швидкістю, в той час, як судна з меншими швидкостями c_2 і c_3 залишаються пасивними. Таку ситуацію характеризує перша область взаємних обов'язків А.

При поєднаннях 2...4 для дотримання вимоги закону необхідної різноманітності Ешбі необхідне маневрування двох суден c_1 і c_2 , а судно з мінімальною швидкістю c_3 є пасивним. Дані ситуації характеризують другу область взаємних обов'язків В.

Решта поєднань 5...20 містять ситуативні збурення із значенням 2, при якому необхідне екстрене маневрування при розходженні. Поєднання збурень з 5-го по 13-е містять одне ситуативне збурення, значення якого рівне 2. У цих ситуаціях судна, для яких $\omega_{ij} = 2$, є активними і виконують маневр екстреного розходження з урахуванням судна, що заважає, а третє судно є пасивним. Це область взаємних обов'язків С. При поєднаннях 5, 10 і 12 ситуативне збурення $\omega_{13} = 2$, тому активними є судна c_1 і c_3 , які виконують маневр екстреного розходження, а судно c_2 зберігає незмінними свої параметри руху. Ситуативне збурення $\omega_{12} = 2$ в поєднаннях 6, 8 і 13, і активні судна c_1 і c_2 виконують екстрене розходження, а судно c_3 є пасивним.

Якщо $\omega_{23} = 2$ (поєднання 7, 9 і 11), то судна c_2 і c_3 є активними в екстреному маневрі розходження, а судно c_1 , будучи пасивним, зберігає свої параметри руху.

У поєднаннях з 14 по 20 не менше двох ситуативних збурень характеризуються значеннями, рівними 2. Область взаємних обов'язків D пов'язана з вказаними поєднаннями, у ній всі три судна виконують маневри екстреного розходження, тобто є активними.

У табл. 3.2 приведені взаємні обов'язки суден залежно від області, що реалізувалася, в скобках позначення (стд.) та (екст.) – відповідно в разі стандартного та екстреного розходження.

Таблиця 3.2

Взаємні обов'язки суден при розходженні

Області	c_1	c_2	c_3
A	активне (стд.)	пасивне	пасивне
B	активне (стд.)	активне (стд.)	пасивне
C	активне (екст.)	пасивне	активне (екст.)
D	Активне (екст.)	активне (екст.)	активне (екст.)

У таблиці для кожної області взаємних обов'язків передбачені три ролеві типи поведінки, які надалі називатимемо ролями. Причому в загальному випадку при координації трьох суден позначимо ролі таким чином:

Ak1st – активне перше судно, що виконує стандартний маневр;

Ak2st – активне друге судно, що виконує стандартний маневр;

Ps – пасивне судно, що зберігає незмінні параметри руху;

Akext – активне судно, що виконує маневр екстреного розходження.

При небезпечному зближенні трьох суден c_a , c_b і c_c розподіл ролей в процесі розходження пропонується залежно від їх статусів St_i , швидкостей, курсів зближення (попутних або зустрічних) і додаткового параметра v_i . Визначення області виробляється по значеннях ситуативних збурень ω_{ij} , як показано в табл. 3.1. Якщо виникла область взаємних обов'язків A, то розподіл ролей Ak1st, Ps і Ps по судах, c_b і c_c здійснюється наступним чином. Якщо статуси суден різні, то судну з найменшим статусом адресуються обов'язки ролі Ak1st, а решті двом суднам приписується роль Ps. Якщо ж статуси двох суден однакові і більше статусу третього судна, наприклад, $St_a = St_c > St_b$, то судну з мінімальним статусом St_b відповідає роль Ak1st, а двом іншими суднам - ролі Ps. У разі, коли статуси двох суден рівні і менші статусу третього судна, наприклад, $St_b > St_c = St_a$, судну з максимальним статусом St_b відпо-

відає роль Ps, а між суднами з рівними статусами ролі розподіляються по співвідношенню швидкостей. Судну з більшою швидкістю відповідає роль Ak1st, а судну з меншою швидкістю – роль Ps.

У разі ж суден з однаковими статусами $St_a = St_b = St_c$ розподіл ролей проводиться по відношенню швидкостей суден. При різних швидкостях суден роль Ak1st відповідає судну з найбільшою швидкістю, решті суден адресуються ролі Ps. Якщо швидкості двох суден рівні і більші швидкості третього судна, то судну з меншою швидкістю відповідає роль Ps. Розподіл ролей між суднами з однаковою швидкістю відбувається по співвідношенню їх додаткових параметрів v_i , причому судну з більшим значенням параметра v_i відповідає роль Ak1st, а іншому судну – роль Ps. У разі рівності швидкостей двох суден, які менші швидкості третього судна, роль Ak1st відповідає судну з більшою швидкістю, а суднам з рівними швидкостями адресуються ролі Ps. Якщо швидкості всіх трьох суден рівні між собою, то розподіл ролей проводиться по співвідношенню значень додаткових параметрів v_i , причому судну з найбільшим значенням параметра v_i відповідає роль Ak1st, а решті суден – ролі Ps.

Алгоритм розподілу ролей між суднами у області взаємних обов'язків А представлений на рис. 3.7 і рис. 3.8. На рисунках алгоритму прийняті наступні позначення умов:

$$Y1A \rightarrow St_a > St_b > St_c$$

$$Y2A \rightarrow St_a = St_b > St_c$$

$$Y3A \rightarrow St_a = St_c > St_b$$

$$Y4A \rightarrow St_b = St_c > St_a$$

$$Y5A \rightarrow St_a > St_b = St_c$$

$$Y6A \rightarrow St_b > St_a = St_c$$

$$Y7A \rightarrow St_c > St_a = St_b$$

$$Y8A \rightarrow V_b = V_c$$

$$Y9A \rightarrow V_b > V_c$$

$$Y10A \rightarrow v_b > v_c$$

$$Y11A \rightarrow V_a = V_c$$

$$Y12A \rightarrow V_a > V_c$$

$$Y24A \rightarrow V_a = V_b > V_c$$

$$Y25A \rightarrow v_a > v_b$$

$$Y26A \rightarrow V_a = V_c > V_b$$

$$Y27A \rightarrow v_a > v_c$$

$$Y28A \rightarrow V_b = V_c > V_a$$

$$Y29A \rightarrow v_b > v_c$$

Результати розподілу суден по ролях позначаються:

$$P1A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P2A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P3A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P4A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P5A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P6A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P7A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P8A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P9A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P10A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P11A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P12A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P13A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P14A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P15A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P16A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P17A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P18A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P19A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P20A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P21A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P22A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P23A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P24A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P25A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P26A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P27A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P28A \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak1st.$$

$$P29A \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ps$$

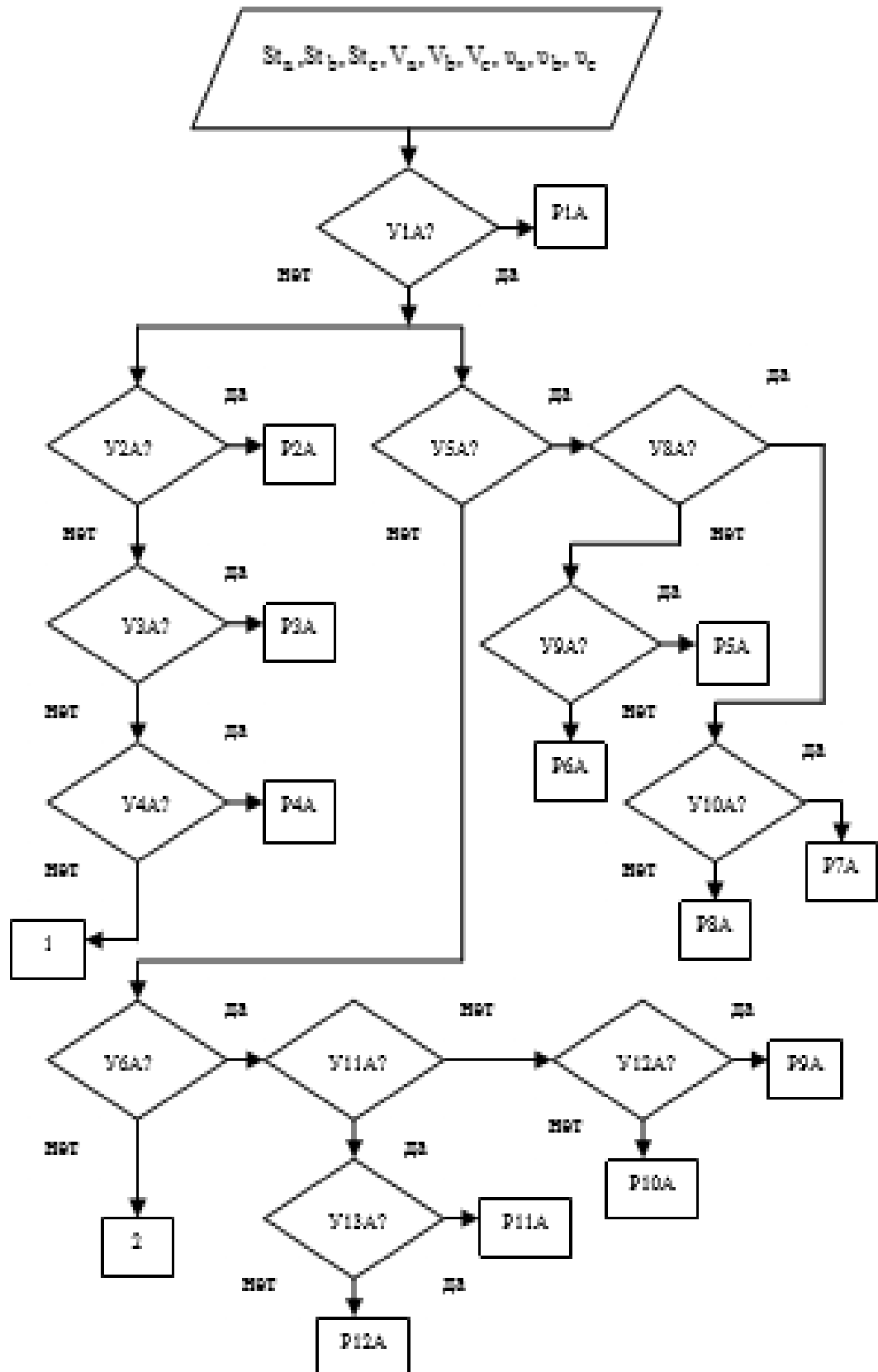


Рис. 3.7. Алгоритм взаємних обов'язків суден в області А

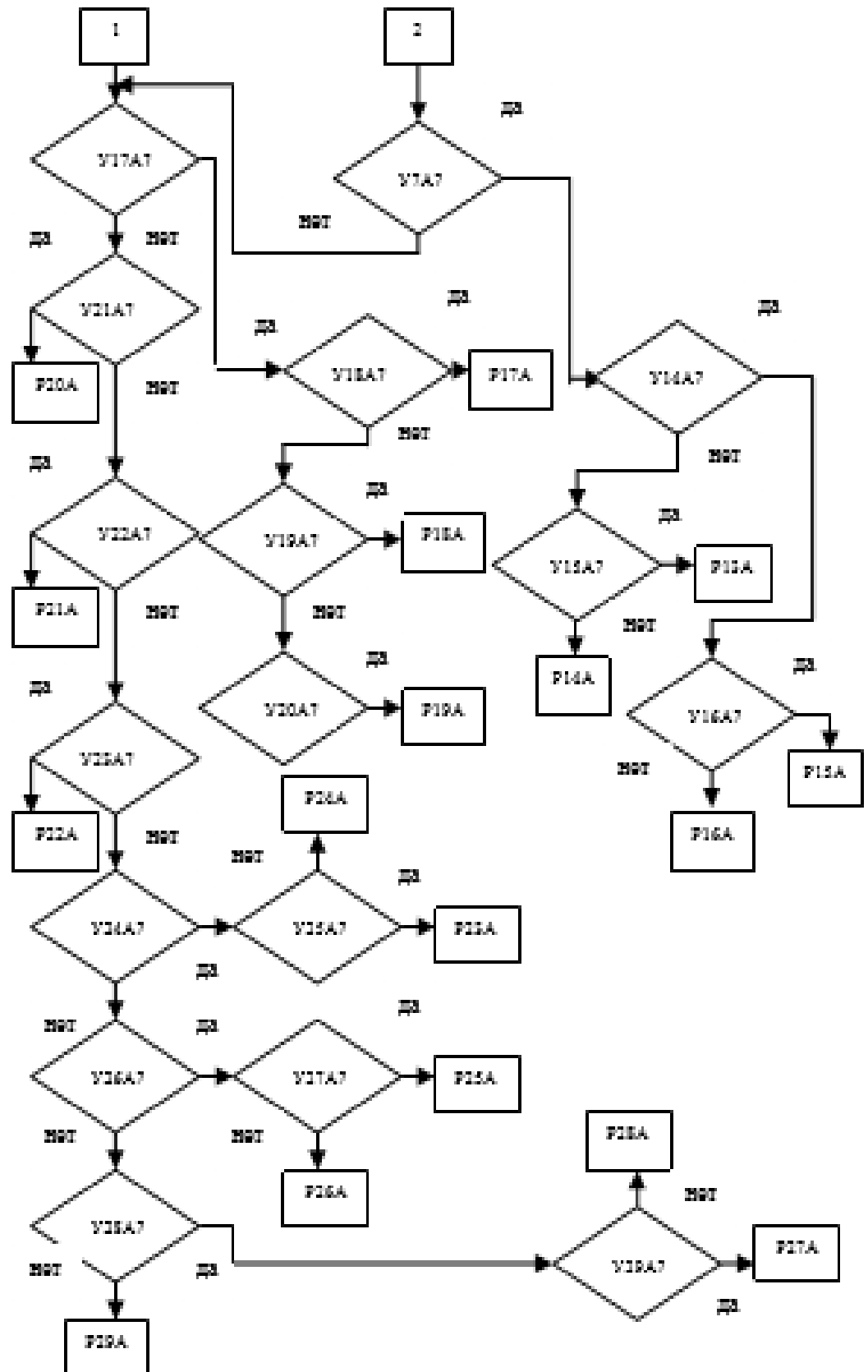


Рис. 3.8. Продовження алгоритму взаємних обов'язків суден в області А

При виникненні області взаємних обов'язків B , розподіл ролей $Ak1st$, $Ak2st$ і Ps по суднам c_a , c_b і c_c проводиться наступним чином. Якщо статуси суден різні, то судну з найбільшим статусом адресуються обов'язки ролі Ps , а решті двох суден приписуються ролі $Ak1st$ і $Ak2st$. Якщо ж статуси двох суден однакові і більше статусу третього судна, наприклад, $St_a = St_c > St_b$, то судну з мінімальним статусом St_b відповідає роль $Ak1st$, а між рештою двох суден ролі, що залишилися, розподіляються по співвідношенню швидкостей. Судну з більшою швидкістю відповідає роль $Ak2st$, а судну з меншою швидкістю – роль Ps . Розподіл ролей між суднами з однаковою швидкістю здійснюється по співвідношенню їх додаткових параметрів v_i , причому судну з більшим значенням параметра v_i відповідає роль $Ak2st$, а іншому судну – роль Ps . У разі, коли статуси двох суден рівні і менші статусу третього судна, наприклад, $St_a = St_c < St_b$, судну з максимальним статусом St_b відповідає роль Ps , а суднам з рівними статусами – ролі $Ak1st$ і $Ak2st$. У разі ж суден з однаковими статусами $St_a = St_b = St_c$ розподіл ролей проводиться по відношенню швидкостей суден. У разі різних швидкостей суден роль Ps відповідає судну з найменшою швидкістю, решті суден адресуються ролі $Ak1st$ і $Ak2st$. Якщо швидкості двох суден рівні і є більшими швидкості третього судна, то судну з меншою швидкістю відповідає роль Ps , а решті суден – ролі $Ak1st$ і $Ak2st$.

У разі рівності швидкостей двох суден, які менше швидкості третього судна, роль $Ak1st$ відповідає судну з більшою швидкістю, а розподіл ролей між суднами з однаковою швидкістю виконується по співвідношенню їх додаткових параметрів v_i , причому судну з більшим значенням параметру v_i відповідає роль $Ak2st$, а іншому судну – роль Ps .

Якщо швидкості всіх трьох суден рівні між собою, то розподіл ролей проводиться по співвідношенню значень додаткових параметрів v_i , причому судну з мінімальним значенням параметра v_i відповідає роль Ps , а решті суден – ролі $Ak1st$ та $Ak2st$.

Алгоритм розподілу ролей між суднами у області взаємних обов'язків В представлений на рис. 3.9 і рис. 3.10. На рисунках алгоритму прийняті наступні позначення умов:

$$Y1B \rightarrow St_a > St_b > St_c$$

$$Y2B \rightarrow St_a > St_b = St_c$$

$$Y3B \rightarrow St_b > St_a = St_c$$

$$Y4B \rightarrow St_c > St_a = St_b$$

$$Y5B \rightarrow St_a = St_b > St_c$$

$$Y6B \rightarrow St_a = St_c > St_b$$

$$Y7B \rightarrow St_b = St_c > St_a$$

$$Y8B \rightarrow V_a = V_b$$

$$Y9B \rightarrow V_a > V_b$$

$$Y10B \rightarrow v_a > v_b$$

$$Y11B \rightarrow V_a = V_c$$

$$Y12B \rightarrow V_a > V_c$$

$$Y13B \rightarrow v_a > v_c$$

$$Y14B \rightarrow V_b = V_c$$

$$Y15B \rightarrow V_b > V_c$$

$$Y16B \rightarrow v_b > v_c$$

$$Y17B \rightarrow V_a = V_b = V_c$$

$$Y18B \rightarrow v_c = \min$$

$$Y19B \rightarrow v_b = \min$$

$$Y20B \rightarrow v_a = \min$$

$$Y21B \rightarrow V_a = V_b > V_c$$

$$Y22B \rightarrow V_a = V_c > V_b$$

$$y_{23B} \rightarrow V_b = V_c > V_a$$

$$y_{24B} \rightarrow V_a > V_b = V_c$$

$$y_{25B} \rightarrow v_b > v_c$$

$$y_{26B} \rightarrow V_b > V_a = V_c$$

$$y_{27B} \rightarrow v_a > v_c$$

$$y_{28B} \rightarrow V_c > V_a = V_b$$

$$y_{29B} \rightarrow v_a > v_b$$

Результати розподілу суден по ролях позначаються:

$$P1B \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st$$

$$P2B \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st$$

$$P3B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow PsAk1st, c_c \Rightarrow Ak1st$$

$$P4B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P5B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak2stPs$$

$$P6B \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st$$

$$P7B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak2stPs$$

$$P8B \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st$$

$$P9B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P10B \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st$$

$$P11B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P12B \rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st$$

$$P13B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps$$

$$P14B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak2st$$

$$P15B \rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps$$

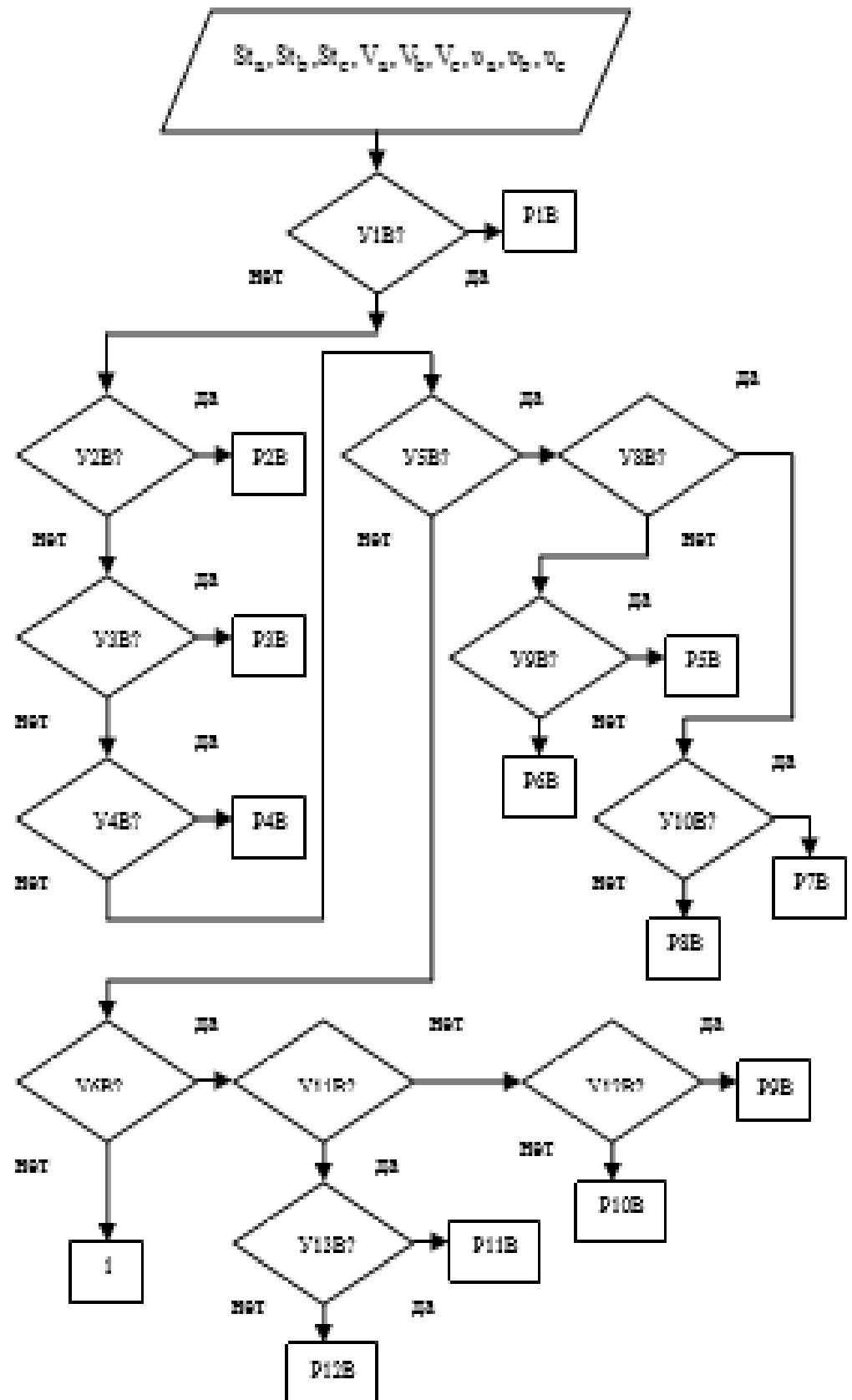
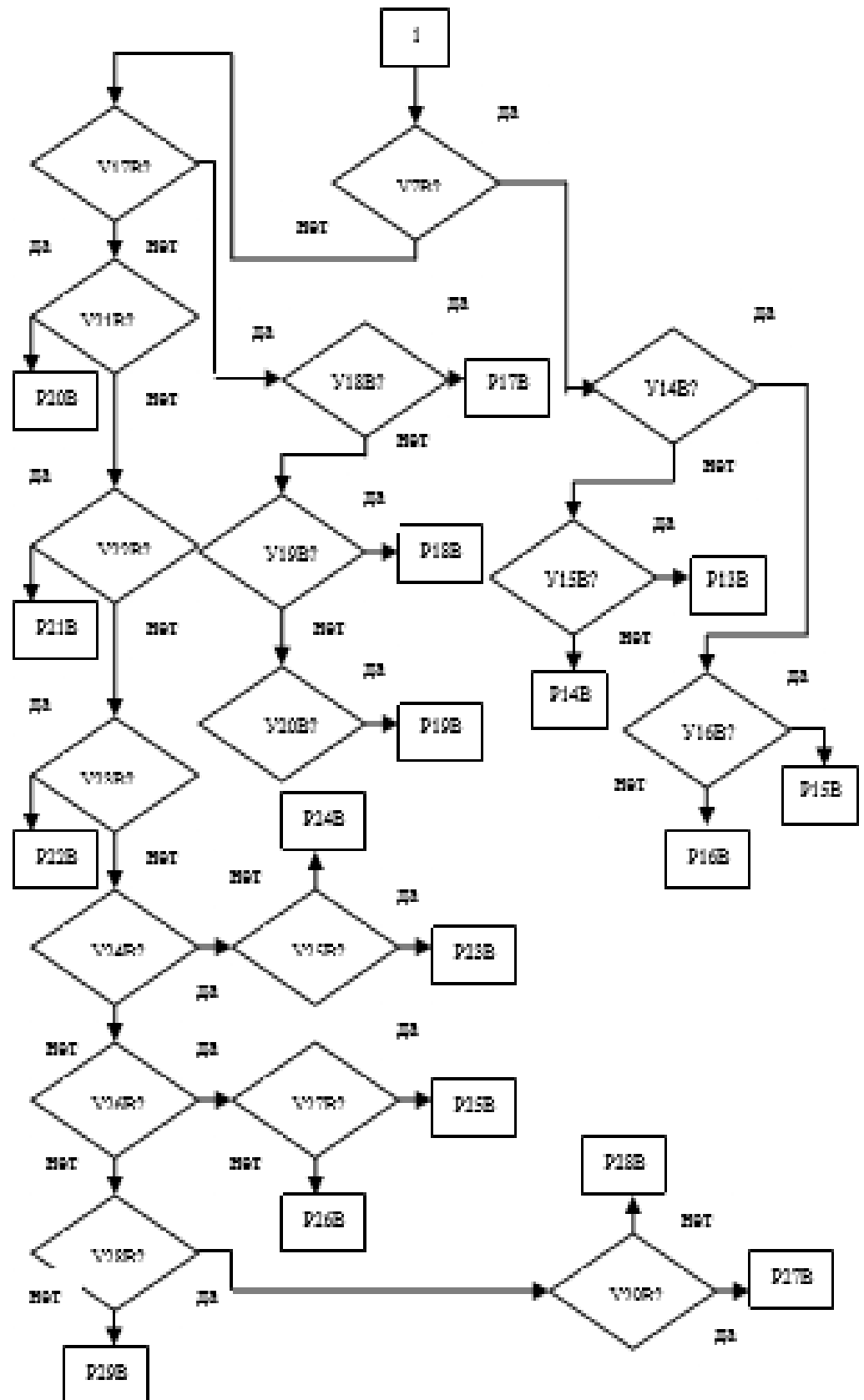


Рис. 3.9. Алгоритм взаємних обов'язків суден у області В



$$\begin{aligned}
P16B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P17B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps \\
P18B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P19B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P20B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps \\
P21B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P22B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P23B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps \\
P24B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P25B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps \\
P26B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P27B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P28B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak1st, c_c \Rightarrow Ak2st \\
P29B &\rightarrow c_a \Rightarrow Ak1st, c_b \Rightarrow Ak2st, c_c \Rightarrow Ps.
\end{aligned}$$

Розглянуті області взаємних обов'язків А і В є областями стандартного маневрування, в яких враховуються статуси суден, їх швидкості і додаткові параметри. Подальші області взаємних обов'язків є областями екстреного маневрування, в яких істотними є тільки значення ситуативних збурень ω_{ij} . Причому для екстреного маневрування необхідно, щоб не менше одного ситуативного збурення приймали значення рівне 2.

У табл. 3.3 приведені взаємні обов'язки суден у області взаємних обов'язків С, коли тільки значення одного ситуативного обурення рівне 2, а одне з суден є пасивним, а інші – активні, що виконують маневр екстреного розходження з урахуванням пасивного судна, що заважає.

Коли в ситуації небезпечного зближення значення не менше двох ситуативних збурень рівне 2 (область взаємних обов'язків D), то активними є всі три судна, кожне з яких виконує маневр екстреного ухилення.

При локально - незалежному управлінні, коли реалізована система координації трьох суден, може виникнути ситуація небезпечного зближення як трьох, так і двох суден. Тому система координації повинна складатися з двох рівнів, що включають бінарну координацію для розходження в ситуації небезпечного зближення двох суден і координацію трьох суден при небезпечному зближенні трьох суден.

Таблиця 3.3

Взаємні обов'язки суден при екстреному розходженні в області С

ω_{ab}	ω_{ac}	ω_{bc}	Взаємні обов'язки суден
1	2	0	$c_a \Rightarrow Ak, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak$
2	1	0	$c_a \Rightarrow Ak, c_b \Rightarrow Ak, c_c \Rightarrow Ps$
1	0	2	$c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak, c_c \Rightarrow Ak$
2	0	1	$c_a \Rightarrow Ak, c_b \Rightarrow Ak, c_c \Rightarrow Ps$
0	1	2	$c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak, c_c \Rightarrow Ak$
0	2	1	$c_a \Rightarrow Ak, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak$
1	1	2	$c_a \Rightarrow Ps, c_b \Rightarrow Ak, c_c \Rightarrow Ak$
1	2	1	$c_a \Rightarrow Ak, c_b \Rightarrow Ps, c_c \Rightarrow Ak$
2	1	1	$c_a \Rightarrow Ak, c_b \Rightarrow Ak, c_c \Rightarrow Ps$

3.5. Висновки по третьому розділу.

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

ки можливого зіткнення. Показано, що доцільно виділити вісім підмножин, три з яких містять цілі, що віддаляються від базового судна, а п'ять підмножин представляють загрозу зіткнення. Одержано аналітичні вирази для визначення приналежності цілей до розглянутих підмножин і приведений відповідний алгоритм.

У третьому розділі розглянуто принцип локально - незалежного управління процесом розходження, який є основним в даний час. Указується, що необхідність в процесі розходження виникає у разі появи ситуативного збурення, яке може бути формалізоване залежно від рівня небезпеки зіткнення і можливості активного судна управляти ситуацією небезпечного зближення. Розглянуто взаємодію суден при виникненні ситуативного збурення і показано, що для управління процесом розходження необхідно погоджувати його маневри.

Тому для узгодження маневрів розходження застосовується система координації при взаємодії суден в ситуації небезпечного зближення. Показано, що така система повинна відповідати ряду обов'язкових вимог, до яких відносяться принцип необхідної різноманітності Ешбі, вимозі повноти системи бінарної координації і відсутності невизначеності в процесі розходження.

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

РОЗДІЛ 4.

ВИБІР СТРАТЕГІЇ РОЗХОДЖЕННЯ СУДНА ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЛАС-
ТІ НЕПРИПУСТИМИХ ПАРАМЕТРІВ.

4.1. Формування повної стратегії розходження судна з урахуванням ви-
мог системи бінарної координації.

Аналітичне рішення задачі розходження в поточному масштабі часу зв'я-
зане з урахуванням багатьох чинників, формалізація яких утруднена. Більш
того, рішення цієї задачі повинне носити оптимізаційний характер, а критері-
єм оптимальності залежно від обставин можуть бути вибрані різні параметри.
Причому вказати межі характеристик, коли повинен бути вибраний той або
інший критерій оптимальності через складність формалізації є складною за-
дачею, рішення якої є окремим науковим дослідженням. У зв'язку з цим для
вирішення задачі розходження судноводію доцільно запропонувати множину
існуючих маневрів розходження, з якого він може вибрати найбільш перева-
жний, виходячи з оцінки ситуації, що склалася.

Як наголошувалося в попередньому розділі, при виборі маневру розхо-
дження активне судно повинне враховувати сигнали, адресовані йому коор-
динатором. Оскільки координація взаємодії суден, що небезпечно зближу-
ються, в даний час здійснюється МППЗС-72, то, згідно роботи [93], розгля-
немо систему бінарної координації $\text{Coor}_{(2)}$ реалізовану в них. У згаданій ро-
боті був проведений аналіз МППЗС-72 з позицій координації взаємодії суден
для виявлення її структури і основних принципів, який показав, що МППЗС-
72 містить дві незалежні системи координації: для хорошої і зниженої види-
мості. Бінарна координація в умовах небезпечного зближення суден при хо-
рошій видимості (правила 2, 16, 17) залежно від початкової відносної позиції
в загальному випадку містить чотири області взаємних обов'язків суден і по-
в'язані з цими областями чотири типи координації і взаємодії:

- відсутність координації і взаємодії суден;

- координація при взаємодії, коли пасивне судно зобов'язане зберігати параметри руху, а судно, що поступає дорогою, повинне виконати маневр розходження;

- координація при взаємодії, коли пасивне судно одержує право змінювати параметри руху;

- координація у разі екстремальної взаємодії, коли пасивне судно зобов'язане робити дії для попередження зіткнення.

Області взаємних обов'язків суден визначаються правилами 16 і 17. Так, правило 16 визначає дії судна, що поступає дорогою, вказуючи, що судно, яке поступає дорогою іншому судну, повинне, наскільки це можливо, зробити завчасні і рішучі дії, що забезпечують можливість чистого розходження. Дії судна, якому поступається дорога, регламентуються Правилем 17, визначаючим наступні області дій судна:

- в другій області судно, якому поступається дорога, повинне зберігати курс і швидкість;

- якщо судно, якому поступається дорога, встановить, що судно, зобов'язане поступитися дорогою, не робить належних дій, то реалізується третя область, і воно може вжити заходи для попередження зіткнення;

- коли судно, зобов'язане зберігати курс і швидкість, встановить, що судно, зобов'язане поступитися дорогою, знаходиться настільки близько, що тільки його діями зіткнення не можна уникнути, то воно повинне вжити всіх заходів для попередження зіткнення, - така ситуація визначає четверту область дій судна, тобто область екстреного маневрування.

Координація в МППЗС–72 реалізується відношенням пріоритету на парі взаємодіючих суден, при цьому відношення пріоритету може бути жорстким, як в другому типі взаємодії, коли регламентується однозначна поведінка кожного з взаємодіючих суден, або напівжорстким, - в третьому типі координації, коли однозначно регламентується поведінка тільки судна, позбавленого пріоритету. У разі екстреної взаємодії характерна відсутність пріоритету, проте на

відміну від першого типу взаємодії є жорстка вимога однозначної активної поведінки обох суден.

Для встановлення відношення пріоритету в МППЗС – 72 введені дві процедури [93], одна з яких призначає пріоритет суднам, що взаємодіють в ситуації обгону, а друга - містить сім рівнів, впорядкованих відношенням пріоритету: малі судна, судна з механічним двигуном, парусні судна, риболовецькі судна, судна обмежені осіданням, судна обмежені в можливості маневрувати і, нарешті, судна що не можуть керуватися (правила 9, 10 і 18). Якщо судна належать одному рівню, то призначення пріоритетів передбачене тільки для рівнів вітрильних суден і суден з механічним двигуном (правила 12, 14 і 15), причому тільки в цьому випадку є вимоги і рекомендації по вибору сторони ухилення при розходженні. Тому правилами визначається тип взаємодії і координації суден залежно від приналежності початкової відносної позиції суден до однієї з областей взаємних обов'язків. При цьому визначаються відношення пріоритету і ступінь його жорсткості, враховуючи при цьому приналежність взаємодіючих суден одному з раніше перерахованих семи рівнів.

Таким чином, на вхід координатора подається інформація про початкову позицію взаємодіючих суден і параметри їх руху для визначення області взаємних обов'язків, а також для встановлення відношення пріоритету поступає інформація для ідентифікації приналежності судна до одного з семи рівнів. У разі взаємодії вітрильних суден або суден з механічним двигуном розраховуються курсовий кут і ракурс суден.

З виходу координатора $Coor_{(2)}$ формується сигнал координації, який містить для обох суден інформацію про необхідність маневрування і дозволені сторони ухилення залежно від типу взаємодії, що реалізувалася. Отже, вимоги МППЗС-72 в частині взаємних обов'язків суден при маневруванні у разі небезпечного зближення можуть бути представлені моделлю узагальненого координатора, як системи типу «вхід - вихід», який за наявності ситуативного збурення однозначно визначає поведінку активного судна за допомогою вихі-

дного сигналу координації і прогнозує поведінку цілі за допомогою сигналу зв'язку.

Як указувалося, формалізація МППСС-72 розглянута в роботі [93], в якій кожному правилу маневрування відповідає ситуація небезпечного зближення і запропонована процедура, що визначає умову її виникнення. Також для кожної ситуації указуються сигнали координатора для взаємодіючих суден. При зміні стану ситуації зближення міняються вимоги МППСС-72 до взаємодії суден, що зближуються. Тому стратегія розходження базового судна повинна враховувати можливі варіанти поведінки цілі в процесі зближення. Особливо це актуально при зближенні більше двох суден за умови діючої системи бінарної координації.

Розглянемо ситуацію небезпечного зближення базового судна (c_1) з ціллю (c_2), коли в районі передбачуваного розходження знаходиться ще одне судно (c_3). В цьому випадку матриця ситуативного збурення $W = \{\omega_{ij}\}$ має вигляд [2]:

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

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

В разі $\omega_{13} = 0$ та $\omega_{23} = 0$ наявність судна c_3 не викликає появу його взаємодії з базовим судном і з ціллю. У цій ситуації $G^{(1)}$ виникає тільки взаємо-

дія Bz_{12} між базовим судном c_1 та небезпечною ціллю c_2 і координатор $Coor_{(2)}$, виходячи з відносної позиції суден S_{12} і їх статусів St_1 та St_2 , адресує взаємодіючим суднам координуючі сигнали γ_{12} і γ_{21} [55]. Ці сигнали визначають їх поведінку в процесі розходження, визначаючи кожному з них взаємні обов'язки, що дозволяє суднам вибрати стратегії розходження. При цьому одне з суден зберігає свої параметри руху, тоді як друге судно виконує маневр розходження або обидва судна виконують узгоджені маневри розходження. Тому базове судно c_1 вибирає стратегію розходження $D_1^{(1)}$, виходячи з одержаного координуючого сигналу γ_{12} і області взаємних обов'язків, що реалізувалася. Причому, якщо координатор визначає судну c_1 поступитися дорогою цілі c_2 ($\gamma_{12}^{(1)} = 1$), то стратегією розходження $D_1^{(1)}$ вибирається маневр ухилення $D_1(1)$. Якщо $\gamma_{12}^{(1)} = 0$, тобто судну координатором визначено зберігати незмінні параметри руху $D_1(0)$, то судно слідує цій стратегії до моменту часу $\tilde{t}$, коли вимушено власним маневром $\tilde{D}_1(\tilde{t})$ попередити можливе зіткнення через бездіяльність цілі c_2 , яка не поступається дорогою $D_2(0)$. У даній ситуації $G^{(1)}$ стратегія $D_1^{(1)}$ визначається таким чином:

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

Розглянемо ситуацію $G^{(2)}$, коли $\omega_{13} = 1$ і $\omega_{23} = 0$. В цьому випадку крім взаємодії Bz_{12} між суднами c_1 і c_2 виникає взаємодія Bz_{13} між судами c_1 і c_3 . Отже, координатор $Coor_{(2)}$ формує координуючі сигнали $\gamma_{12}^{(2)}$, $\gamma_{21}^{(2)}$, $\gamma_{13}^{(2)}$ та $\gamma_{31}^{(2)}$. Базовому судну координатором адресуються сигнали $\gamma_{12}^{(2)}$ і $\gamma_{13}^{(2)}$, які мо-

жуть визначати йому один тип поведінки ($\gamma_{12}^{(2)}=1$, $\gamma_{13}^{(2)}=1$ або $\gamma_{12}^{(2)}=0$, $\gamma_{13}^{(2)}=0$), тобто маневрувати або зберігати незмінні параметри руху, або ж суперечити один одному ($\gamma_{12}^{(2)}=1$, $\gamma_{13}^{(2)}=0$ або $\gamma_{12}^{(2)}=0$, $\gamma_{13}^{(2)}=1$). У разі узгоджених координуючих сигналів $\gamma_{12}^{(2)}=1$ і $\gamma_{13}^{(2)}=1$ базове судно повинне поступитися дорогою суднам c_2 і c_3 маневром розходження $D_1^{(2)}(1)$, який може реалізуватися одним з двох можливих варіантів: загальним маневром для обох суден c_2 і c_3 або двома послідовними маневрами для кожного з суден. Якщо координуючі сигнали $\gamma_{12}^{(2)}=0$, $\gamma_{13}^{(2)}=0$, то базове судно повинно зберігати незмінні параметри руху щодо обох суден c_2 і c_3 , воно прямує постійним курсом і швидкістю $D_1^{(2)}(0)$ за умови, що цілі c_2 і c_3 виконують наказані маневри ухилення $D_2(1)$ і $D_3(1)$. Якщо ж одна з цілей або обидві цілі не поступаються дорогою базовому судну, то останнє прямує постійним курсом і швидкістю $D_1^{(2)}(0)$ до моменту часу $\tilde{t}$, після якого судно c_1 вимушене власним маневром $\tilde{D}_1^{(2)}(\tilde{t})$ попередити можливе зіткнення.

У разі, коли координуючі сигнали суперечать один одному ($\gamma_{12}^{(2)}=1$, $\gamma_{13}^{(2)}=0$ або $\gamma_{12}^{(2)}=0$, $\gamma_{13}^{(2)}=1$), базове судно робить маневр розходження в нульовий момент часу $\bar{D}_1^{(2)}(t_0)$, який є безпечним для суден c_2 і c_3 . У даній ситуації $G^{(2)}$ стратегія $D_1^{(2)}$ визначається таким чином:

$$D_1^{(2)} = \begin{cases} D_1^{(2)}(1), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)}=1, \gamma_{13}^{(2)}=1; \\ D_1^{(2)}(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)}=0, \gamma_{13}^{(2)}=0, D_2(1), D_3(1); \\ D_1^{(2)}(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)}=0, \gamma_{13}^{(2)}=0, D_2(0), D_3(0), t \leq \tilde{t}; \\ \tilde{D}_1^{(2)}(\tilde{t}), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)}=0, \gamma_{13}^{(2)}=0, D_2(0), D_3(0), t > \tilde{t}; \\ \bar{D}_1^{(2)}(t_0), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)}=0, \gamma_{13}^{(2)}=1; \\ \bar{D}_1^{(2)}(t_0), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)}=1, \gamma_{13}^{(2)}=0. \end{cases}$$

Чергова ситуація $G^{(3)}$ характеризується ситуативними збуреннями $\omega_{13} = 0$ і $\omega_{23} = 1$, при цьому додатково до взаємодії Bz_{12} виникає взаємодія Bz_{23} між суднами c_2 і c_3 . У цій ситуації координатором формуються координуючі сигнали $\gamma_{12}^{(3)}$, $\gamma_{21}^{(3)}$, $\gamma_{23}^{(3)}$ і $\gamma_{32}^{(3)}$. Якщо реалізувалися значення сигналів координації $\gamma_{12}^{(3)} = 1$, $\gamma_{21}^{(3)} = 0$, $\gamma_{23}^{(3)} = 1$ і $\gamma_{32}^{(3)} = 0$, то базове судно c_1 поступається дорогою судну c_2 , виконуючи маневр $D_1^{(3)}(1)$ і враховуючи, що c_2 виконує маневр розходження $D_2(1)$ з судном c_3 . Аналогічно формується стратегія розходження базового судна при координуючих сигналах $\gamma_{12}^{(3)} = 1$, $\gamma_{21}^{(3)} = 0$, $\gamma_{23}^{(3)} = 0$ і $\gamma_{32}^{(3)} = 1$, тільки враховується маневр розходження $D_3(1)$ судна c_3 .

У разі сигналів координації $\gamma_{12}^{(3)} = 0$, $\gamma_{21}^{(3)} = 1$, $\gamma_{23}^{(3)} = 0$ і $\gamma_{32}^{(3)} = 1$, коли базовому судну потрібно зберігати свої параметри руху, його стратегією є проходження з постійними курсом і швидкістю $D_1^{(3)}(0)$, якщо ціль c_2 виконує маневр розходження $D_2(1)$. Аналогічна стратегія $D_1^{(3)}(0)$ використовується при реалізації сигналів координації $\gamma_{12}^{(3)} = 0$, $\gamma_{21}^{(3)} = 1$, $\gamma_{23}^{(3)} = 1$ і $\gamma_{32}^{(3)} = 0$. Якщо ж при цих координаційних сигналах для обох випадків ціль c_2 всупереч вимогам координатора не поступається дорогою базовому судну $D_2(0)$, то останнє реалізує стратегію $D_1^{(3)}(0)$ до моменту часу $\tilde{t}$, після чого базове судно робить власний маневр розходження $\tilde{D}_1^{(3)}(\tilde{t})$. Таким чином, в ситуації $G^{(3)}$ стратегія $D_1^{(3)}$ має наступну формалізацію:

$$D_1^{(3)} = \begin{cases} D_1^{(3)}(1), & \text{если } \gamma_{12}^{(3)} = 1; \\ D_1^{(3)}(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(3)} = 0, D_2(1); \\ D_1^{(3)}(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(3)} = 0, D_2(0), t \leq \tilde{t}; \\ \tilde{D}_1^{(3)}(\tilde{t}), & \text{если } \gamma_{12}^{(3)} = 0, D_2(0), t > \tilde{t}. \end{cases}$$

Завершальна ситуація $G^{(4)}$ реалізується при ситуативних збуреннях $\omega_{13}=1$ і $\omega_{23}=1$, в якій крім взаємодії Bz_{12} виникають взаємодії Bz_{13} і Bz_{23} відповідно між суднами c_1 і c_3 , а також між суднами c_2 і c_3 . У цій ситуації координатором формуються координуючі сигнали $\gamma_{12}^{(4)}$, $\gamma_{21}^{(4)}$, $\gamma_{13}^{(4)}$, $\gamma_{31}^{(4)}$, $\gamma_{23}^{(4)}$ і $\gamma_{32}^{(4)}$. Тому поведінка базового судна c_1 в першу чергу, визначається співвідношенням координаційних сигналів $\gamma_{12}^{(4)}$ і $\gamma_{13}^{(4)}$. Якщо дані сигнали узгоджені $\gamma_{12}^{(4)}=1$ і $\gamma_{13}^{(4)}=1$, то базове судно c_1 виконує маневр розходження $D_1^{(4)}(1)$, який може бути загальним для суден c_2 і c_3 або складатися з двох послідовних маневрів, і поступитися дорогою судам c_2 і c_3 . У разі узгоджених координуючих сигналів $\gamma_{12}^{(4)}=0$ і $\gamma_{13}^{(4)}=0$ якщо судна c_2 і c_3 виконують наказані маневри ухилення $D_2(1)$ і $D_3(1)$, то базове судно повинне зберігати незмінні параметри руху, реалізуючи стратегію $D_1^{(4)}(0)$. У разі, коли одна з цілей не поступається дорогою базовому судну, то останнє прямує постійним курсом і швидкістю $D_1^{(4)}(0)$ до моменту часу $\tilde{t}$, після чого судно c_1 власним маневром розходження $\tilde{D}_1^{(4)}(\tilde{t})$ попереджає можливе зіткнення.

У разі, коли координуючі сигнали суперечать один одному ($\gamma_{12}^{(4)}=1$, $\gamma_{13}^{(4)}=0$ або $\gamma_{12}^{(4)}=0$, $\gamma_{13}^{(4)}=1$), базове судно робить маневр розходження в нульовий момент часу $\bar{D}_1^{(4)}(t_0)$, який є безпечним для обох суден c_2 і c_3 . Таким чином, в ситуації $G^{(4)}$ стратегія $D_1^{(4)}$ визначається таким чином:

$$D_1^{(4)} = \begin{cases} D_1^{(4)}(1), & \text{если } \gamma_{12}^{(4)}=1, \gamma_{13}^{(4)}=1; \\ D_1^{(4)}(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(4)}=0, \gamma_{13}^{(4)}=0, D_2(1), D_3(1); \\ D_1^{(4)}(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(4)}=0, \gamma_{13}^{(4)}=0, D_2(0), D_3(0), t \leq \tilde{t}; \\ \tilde{D}_1^{(4)}(\tilde{t}), & \text{если } \gamma_{12}^{(4)}=0, \gamma_{13}^{(4)}=0, D_2(0), D_3(0), t > \tilde{t}; \\ \bar{D}_1^{(4)}(t_0), & \text{если } \gamma_{12}^{(4)}=0, \gamma_{13}^{(4)}=1; \\ \bar{D}_1^{(4)}(t_0), & \text{если } \gamma_{12}^{(4)}=1, \gamma_{13}^{(4)}=0. \end{cases}$$

Перераховані ситуації $G^{(i)}$ ($i = 1 \div 4$) передбачають парні взаємодії суден з протилежними координаційними сигналами, коли одне з суден виконує маневр розходження, а друге судно зберігає незмінні параметри руху. У координаторі МППЗС-72 тільки одна ситуація (Правило 14) при стандартній взаємодії суден передбачає одночасне маневрування базового судна і цілі. У цій ситуації базове судно вибирає маневр розходження ухиленням управо незалежно від поведінки цілі і третього судна.

Як указується в МППЗС-72, при достатньому водному просторі найбільш переважним маневром розходження є зміна курсу судна. Тому після виявлення ситуативного збурення базове судно повинне визначити ситуацію $G^{(i)}$, що реалізувалася, і розрахувати параметри стратегії розходження $D_1^{(i)}$, включаючи всі альтернативні маневри ухилення, а потім, виходячи з поведінки цілі і третього судна c_3 , виконувати відповідний варіант маневру ухилення.

4.2. Побудова області неприпустимих параметрів руху судна.

Якщо при зближенні судна з ціллю дистанція найкоротшого зближення $\min D$ менша гранично-допустимої дистанції d_d , то зближення є небезпечним. Оскільки значення $\min D$ залежить від пеленга α на ціль і дистанції D між судном і ціллю, а також від параметрів руху судна (курсу K_1 , швидкості V_1) і цілі K_2 , V_2 [2], то при заданих значеннях α , D , K_2 і V_2 існує множина поєднань параметрів руху судна K_1 і V_1 , при яких має місце нерівність $\min D \leq d_d$. Якщо поєднання K_1 і V_1 розглядати, як точки (K_1, V_1) координатної площини $K_1 \times V_1$, то область Ω_d , для кожної точки (K_1, V_1) якої виконується нерівність $\min D \leq d_d$, називатимемо областю неприпустимих параметрів руху судна Ω_d .

Очевидно, межею області Ω_d є сукупність крапок (K_1, V_1) , для кожної з яких досягається рівність $\min D = d_d$. Враховуючи, що дана рівність досягається при відносному ухиленні судна як управо, так і вліво щодо напрямку пеленга, то є дві межі, які обмежують область неприпустимих параметрів руху судна Ω_d . В цьому випадку якщо крапка (K_{1i}, V_{1i}) належить області Ω_d , то зближення судна з ціллю є небезпечним, оскільки $\min D < d_d$. Інакше при зближенні небезпека зіткнення не виникає. Знайдемо аналітичний вираз для меж області Ω_d . Для цього в рівність $\min D = d_d$ слід підставити вираз для $\min D$ [55]:

$$\Delta D \sin(\alpha - K_{ot}) = d_d, \quad (4.1)$$

де K_{ot} - відносний курс; Δ - відносне ухилення, знак якого забезпечує позитивне значення $\min D$, причому $\Delta = -1$, при $\sin(\alpha - K_{ot}) < 0$, інакше $\Delta = 1$. Слід зазначити, що рівність (4.1) справедлива для всіх курсів K_1 судна тільки у разі $V_1 > V_2$, коли зміною курсу судна може бути досягнутий будь-який відносний курс K_{ot} .

Очевидно:

$$\alpha - K_{ot} = \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}, \quad K_{ot} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}.$$

Позначимо $\gamma = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}$. Залежно від знаку Δ одержимо:

$$\gamma^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}, \text{ при } \Delta > 0 \text{ і } \gamma^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}, \text{ при } \Delta < 0.$$

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

Враховуємо:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2} = \frac{\sin \gamma^{(1,2)}}{\cos \gamma^{(1,2)}}, \text{ тому}$$

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

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

звідки маємо:

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

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

З останнього рівняння одержимо:

$$K_{11} - \gamma^{(1,2)} = \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1},$$

$$K_{12} - \gamma^{(1,2)} = \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}.$$

Тому:

$$K_{11}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1},$$

$$K_{11}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1},$$

$$K_{12}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1},$$

$$K_{12}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1},$$

причому необхідно враховувати обмеження на значення швидкості судна V_1 . Аргумент $V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})/V_1$ під функцією $\arcsin$ не може перевершувати 1, отже, мінімальне значення швидкості судна в рівняннях меж $K_{11}^{(2)}$ і $K_{12}^{(2)}$ ви-
значається величиною $V_{1\min} = V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})$, а для меж $K_{11}^{(1)}$ і $K_{12}^{(1)}$ -
 $V_{1\min} = V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})$ до $V_{1\max}$, тому

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

$$K_{12}^{(1)} \in [\gamma^{(1)} + \frac{\pi}{2}, \gamma^{(1)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_{1\max}}].$$

В свою чергу, для курсів $K_{11}^{(2)}$ і $K_{12}^{(2)}$ швидкість судна $V_1 \in [V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)}), V_{1\max}]$ та

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

$$K_{12}^{(2)} \in [\gamma^{(2)} + \frac{\pi}{2}, \gamma^{(2)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_{1\max}}].$$

Отже, область неприпустимих параметрів судна, як функція курсу від швидкості, аналітично виражається для зближення на зустрічних курсах:

$$K_{11}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1},$$

$$K_{11}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}, \quad (4.2)$$

з урахуванням раніше вказаних обмежень на швидкість V_1 .

Аналогічно, для попутних курсів:

$$K_{12}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1},$$

$$K_{12}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}. \quad (4.3)$$

З урахуванням виразу для $\gamma^{(1)}$ і $\gamma^{(2)}$ межі (4.2) і (4.3) приймають вигляд:

$$K_{11}^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1},$$

$$K_{11}^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{\Delta D} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1},$$

$$K_{12}^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1},$$

$$K_{12}^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{\Delta D} + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1},$$

причому необхідно враховувати обмеження на значення швидкості судна V_1 .

Для ситуації зближення з параметрами: $\alpha = 128^\circ$, $D = 3,5$ милі, $K_1 = 100^\circ$, $V_1 = 22$ вузла, $K_2 = 350^\circ$, $V_2 = 17$ вузлів, $d_d = 1$ миля, показаної на рис. 4.1, за допомогою комп'ютера були розраховані межі області Ω_d .

Причому розрахунок меж проводився за допомогою рівнянь (4.2) і (4.3), а область неприпустимих параметрів руху судна Ω_d показана на рис. 4.2.

Як указується в роботі [55], залежно від співвідношення швидкостей судна V_1 і цілі V_2 при зміні курсу судна K_1 виникає особливість зміни відносного курсу K_{ot} .

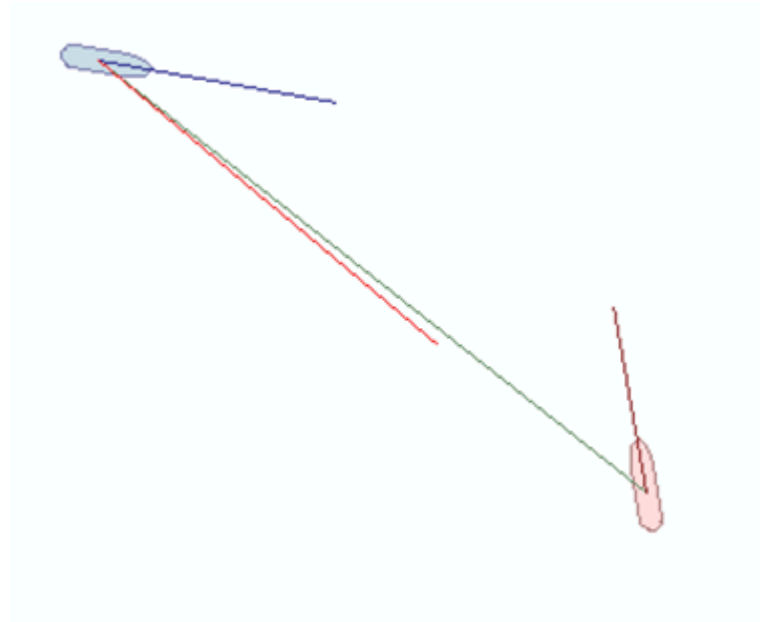


Рис. 4.1. Ситуація зближення при $V_1 > V_2$

У випадку $V_1 > V_2$ величина першої похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ позитивна для всіх значень K_1 , тому відносний курс K_{ot} може приймати будь-які значення від 0 до 2π .

Якщо ж $V_1 < V_2$ відображення множини відносних курсів в множину істинних курсів судна не є однозначним, оскільки перша похідна $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ може мати як позитивний, так і негативний знаки, тобто кожному відносному курсу, окрім екстремальних, відповідає два значення істинного курсу судна, а при зміні курсу K_1 судна в діапазоні від 0 до 2π відносний курс K_{ot} прийматиме значення з діапазону $[K_{otmin}, K_{otmax}]$, причому:

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

Тому вибір маневру розходження зміною курсу при небезпечному зближенні судна з ціллю за допомогою області Ω_d , як вище вказувалося, можливий за ситуації, коли $V_1 > V_2$. У випадку ж $V_1 < V_2$ використання області Ω_d для вибору судном маневру ухилення від небезпечної цілі не є коректним, оскільки не всі відносні курси можуть бути досягнуті зміною курсу судна. Тому при $V_1 < V_2$ доцільно вибирати безпечний відносний курс ухилення в системі координат змінних відносного курсу K_{ot} і швидкості судна V_1 .

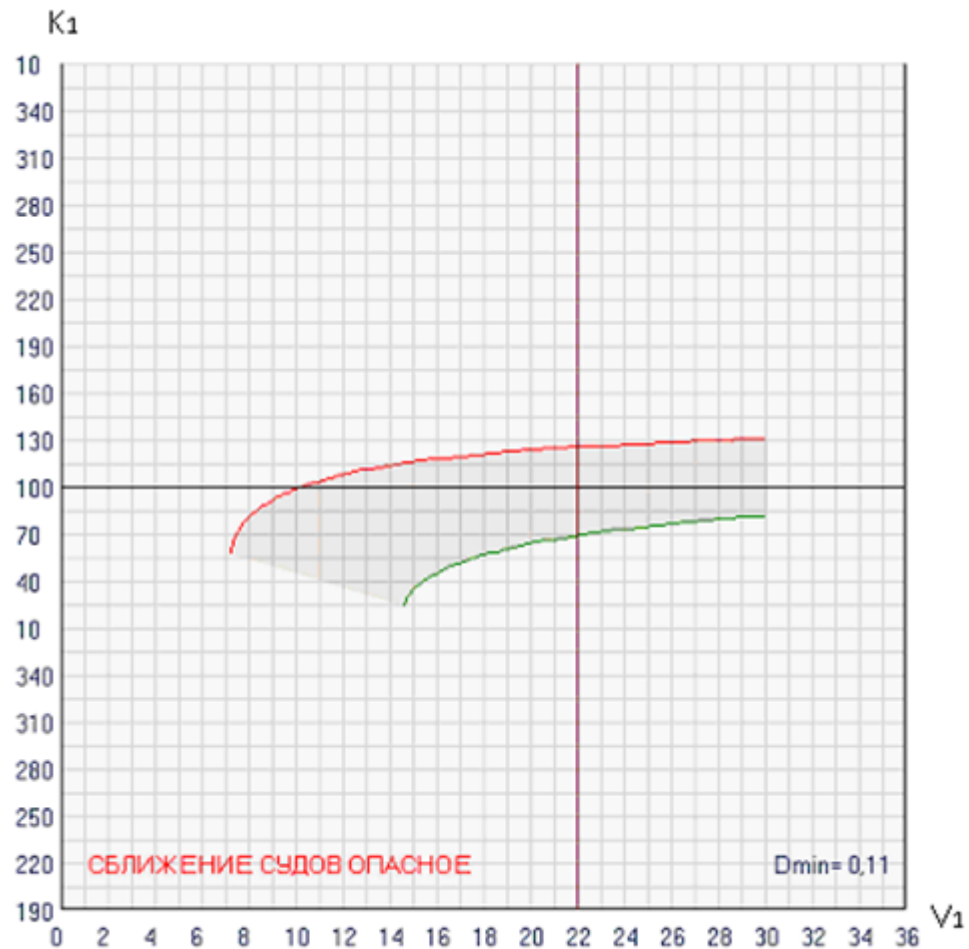


Рис. 4.2. Область неприпустимих параметрів руху судна Ω_d

Вибір безпечного курсу ухилення проводиться таким чином.

Підмножина відносних курсів $Mn1_{ot}$, при яких зближення судна і цілі являється небезпечним, обмежена значеннями $K_{ot*} = \gamma^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D}$ і $K_{ot}^* = \gamma^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D}$, тобто $Mn1_{ot} = [\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}]$. У свою чергу, підмножина всіх можливих відносних курсів ухилення при $V_1 < V_2$ визначається підмножиною $Mn2_{ot} = [K_{otmin}, K_{otmax}]$. Якщо існує підмножина відносних курсів $Mn3_{ot}$, яка одночасно задовольняє умовам $Mn3_{ot} \in Mn2_{ot}$ і $Mn3_{ot} \notin Mn1_{ot}$, то як відносний курс ухилення K_{oty} може бути вибраний будь-який відносний

курс підмножини $Mn3_{ot}$, тобто $K_{oty} \in Mn3_{ot}$. По вибраному K_{oty} можна знайти відповідний істинний курс судна K_{ly} [55].

На рис. 4.3, як приклад, для випадку $V_1 < V_2$ розглянута ситуація

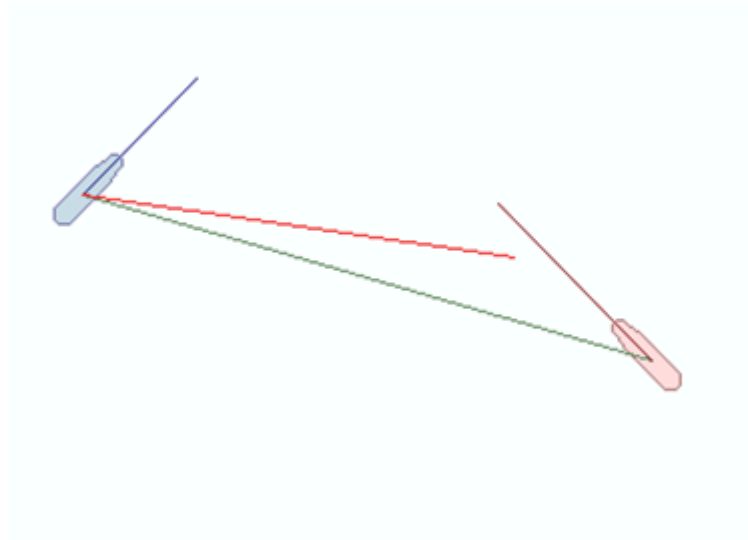


Рис. 4.3. Ситуація зближення при $V_1 < V_2$

зближення з наступними параметрами: $\alpha = 106^\circ$, $D = 3,0$ милі, $K_1 = 45^\circ$, $V_1 = 15$ вузла, $K_2 = 317^\circ$, $V_2 = 20$ вузлів, $d_d = 1$ миля.

Для даної ситуації графічне відображення підмножин відносних курсів $Mn1_{ot}$ і $Mn2_{ot}$ показано на рис. 4.4.

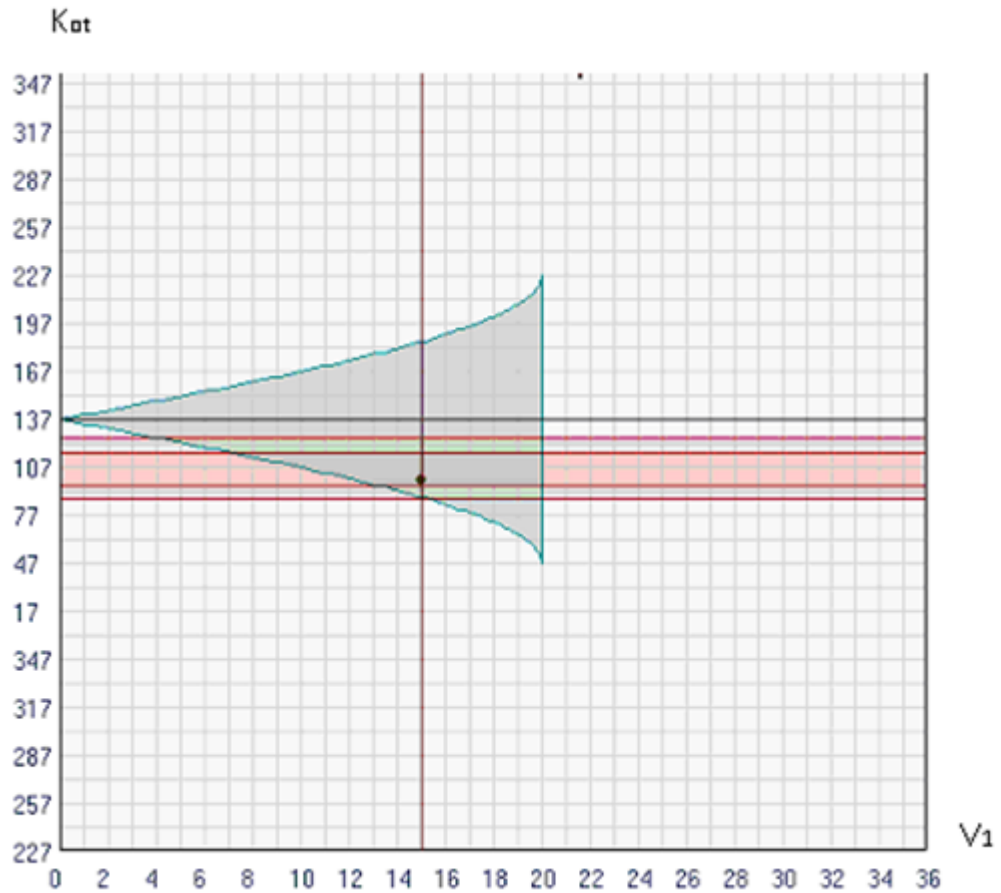


Рис. 4.4. Підмножини відносних курсів $Mn1_{от}$ та $Mn2_{от}$ при $V_1 < V_2$

4.3. Вибір стратегії розходження судна зміною курсу.

У разі переваги швидкості базового судна над швидкістю цілі, тобто $V_1 > V_2$, за допомогою області неприпустимих параметрів руху судна Ω_d можна оцінити, чи є небезпечним зближення судна з ціллю. Для цього достатньо перевірити приналежність точки з параметрами руху судна (K_1, V_1) до області Ω_d . Якщо $(K_1, V_1) \in \Omega_d$, то зближення є небезпечним, інакше судно і ціль зближуються безпечно. У разі небезпечного зближення за допомогою області Ω_d можна вибрати маневр розходження зміною курсу судна при не-

змінній його швидкості. Такому маневру відповідає крапка (K_{1y}, V_1), що знаходиться на межі області Ω_d .

Так для першого прикладу, область Ω_d для якого приведена на рис. 4.2, крапка з початковими параметрами руху судна ($K_1=100^\circ$, $V_1=22$ вузла), яка знаходиться на перетині відповідних горизонтальної і вертикальної ліній, належить області Ω_d , причому дистанція найкоротшого зближення $\min D = 0,11$ милі істотно менше за значення d_d .

Тому виникає необхідність визначити курс ухилення K_{1y} судна, при якому значення дистанції найкоротшого зближення $\min D$ досягає значення гранично-допустимої дистанції d_d , для чого знову звертаємося до області Ω_d . У розробленій комп'ютерній програмі за допомогою лінійки прокрутки (Scroll Bar) передбачене інтерактивне введення курсу ухилення K_{1y} судна, внаслідок чого крім індикації значення K_{1y} , що вводиться, відбувається зміна положення горизонтальної лінії залежно від його значення. Зміна курсу K_{1y} оператором здійснюється до тих пір, поки горизонтальна лінія не досягне межі області Ω_d , як показано на рис. 4.5. У даному прикладі межа області Ω_d досягається при $K_{1y}=126^\circ$, при цьому $\min D=1$ миля. Таким чином, ввівши початкові параметри ситуації зближення в описувану комп'ютерну програму, одержуємо графічне зображення області Ω_d і положення точки (K_1, V_1) початкових параметрів руху судна. Візуально оцінюємо приналежність точки області Ω_d і робимо висновок про наявність небезпеки зближення і необхідності вибору курсу ухилення судна. У разі потреби переміщенням повзунка лінійки прокрутки переміщаємо горизонтальну лінію до співпадіння з вибраною межею області Ω_d , одержуючи курс ухилення судна.

Розглянемо випадок, коли швидкість базового судна менша швидкості цілі, тобто $V_1 < V_2$, для чого звернемося до другого приведенного прикладу (рис. 4.4), з якого виходить, що крапка з початковим відносним курсом $K_{\text{oto}} =$

99° , який відповідає $K_1 = 45^\circ$, і швидкістю судна належить підмножині $Mn1_{ot}$, оскільки його межі не залежать від швидкості судна,

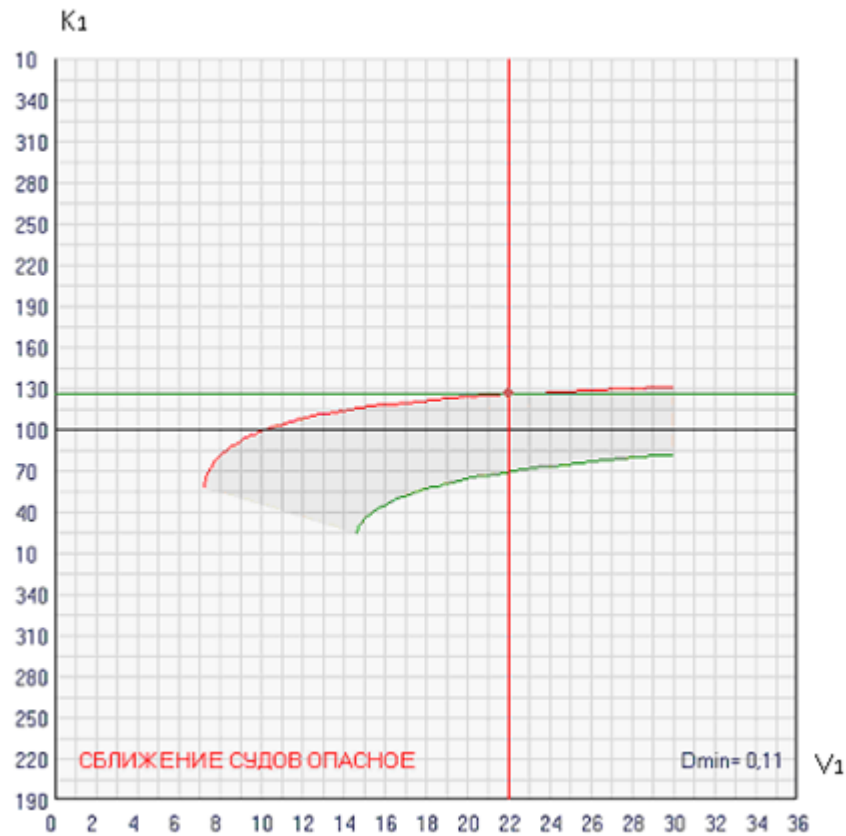


Рис. 4.5. Вибір курсу ухилення судна K_{1y} при $V_1 > V_2$

причому нижня межа $K_{ot*} = 87^\circ$ і верхня - $K_{ot}^* = 125^\circ$. При швидкості судна $V_1 = 15$ вузлів межі підмножини $Mn2_{ot}$ визначаються значеннями $K_{otmin} = 88^\circ$ та $K_{otmax} = 186^\circ$. Так як $K_{ot*} < K_{otmin}$, то ухиленням судна вліво неможливо $\min D$ збільшити до значення d_d . Тому введенням значення курсу ухилення судна K_{1y} поворотом вправо за допомогою лінійки прокрутки змінюємо величину відносного курсу K_{oty} і положення горизонтальної лінії, відповідної йому, до тих пір, поки не сумістимо її з верхньою межею K_{ot}^* підмножини $Mn1_{ot}$, як показано на рис. 4.6, з якого видно, що $K_{oty} = K_{ot}^* = 125^\circ$.

Значення курсу ухилення судна, що при цьому вводиться, склало $K_{1y}=109^\circ$, а значення $\min D=0,99$ милі.

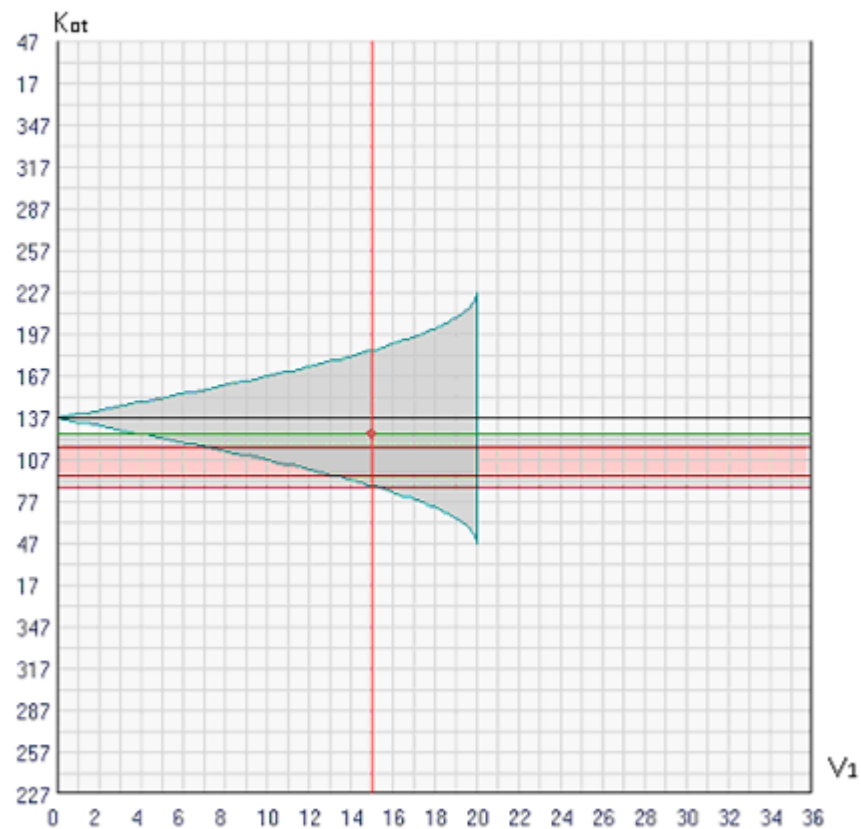


Рис. 4.6. Вибір курсу ухилення судна K_{1y} при $V_1 < V_2$

Таким чином, у випадку $V_1 < V_2$ процедура оцінки небезпеки зближення судна з ціллю і вибору курсу ухилення судна, реалізована в комп'ютерній програмі, дозволяє оперативно візуально оцінити небезпеку ситуації зближення і у разі потреби за допомогою лінійки прокрутки елементарно визначити курс ухилення, при якому $\min D = d_d$.

Отже, запропонована процедура оцінки небезпеки зближення судна з ціллю і вибір маневру розходження ухиленням за допомогою області Ω_d у випадку $V_1 > V_2$, як і процедура визначення курсу ухилення судна K_{1y} при $V_1 < V_2$, реалізовані на комп'ютері у вигляді програми, забезпечили оперативність і простоту рішення поставленої задачі.

При маневрі розходження зміною курсу, який відповідає межі області Ω_d , дистанція найкоротшого зближення $D_{\min}$ виявляється меншою d_d , і зближення суден є небезпечним (рис.4.7), оскільки не

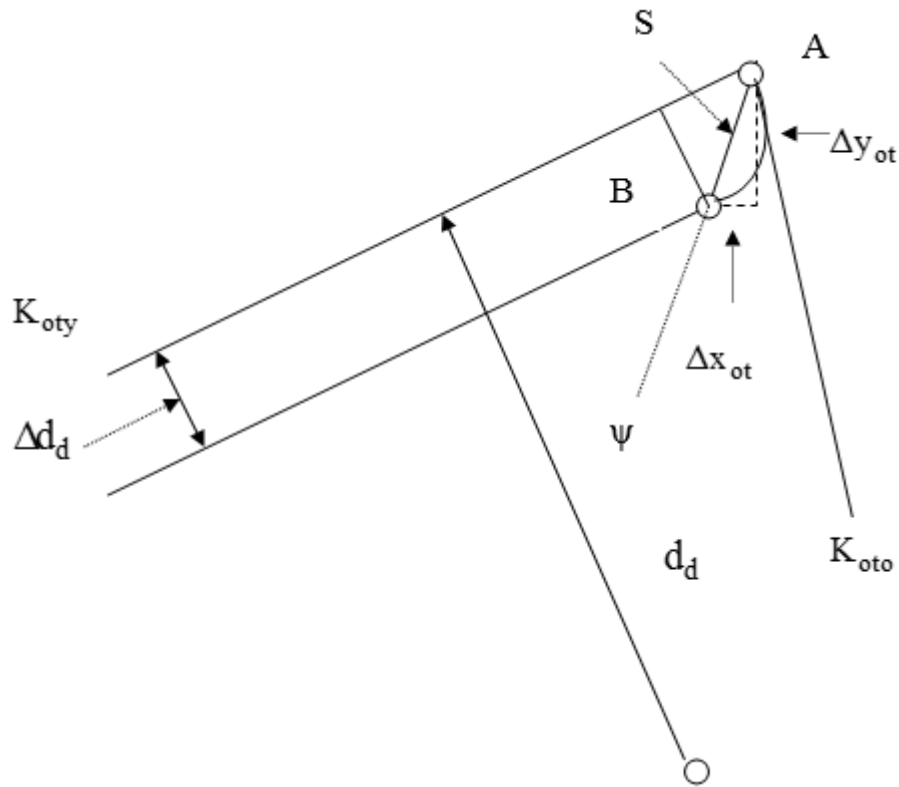


Рис. 4.7. Визначення приросту дистанції Δd_d

буде врахована інерційність судна при повороті, і судно з ціллю розійдуться не в гранично-допустимій дистанції d_d , а на величину Δd_d ближче.

Отже, при врахуванні інерційності повороту необхідно гранично-допустиму дистанцію збільшувати до значення $d_d + \Delta d_d$ і судно з ціллю розійдуться на дистанції d_d .

Знайдемо вираз для розрахунку приросту дистанції Δd_d , для чого звернемося знову до рис. 4.7, з якого виходить:

$$\Delta d_d = S \sin(K_{oty} - \psi),$$

де K_{oty} - відносний курс ухилення, який визначається відомим виразом [2]:

$$K_{oty} = \alpha - \arcsin(d_d/D),$$

де α і D - відповідно пеленг на ціль і дистанція до цілі.

Якщо позначити прирости відносних координат Δx_{ot} і Δy_{ot} за час повороту, то

$$\Delta x_{ot} = x_1 - x_2, \quad \Delta y_{ot} = y_1 - y_2,$$

де складові x_1 і y_1 - криволінійний рух базового судна при повороті, а друга складова x_2 і y_2 - прямолінійний рух цілі без зміни параметрів руху.

Очевидно, відрізок $S = \sqrt{\Delta x_{ot}^2 + \Delta y_{ot}^2}$, а кут $\psi = \arctg \frac{\Delta x_{ot}}{\Delta y_{ot}}$.

Отже, остаточно вираз для розрахунку Δd_d має вигляд:

$$\Delta d_d = \sqrt{\Delta x_{ot}^2 + \Delta y_{ot}^2} \sin(K_{oty} - \arctg \frac{\Delta x_{ot}}{\Delta y_{ot}}). \quad (4.4)$$

У роботі [55] одержані вирази для приросту координат x_1 і y_1 базового судна в результаті повороту при розрахунку їх по моделі обертального руху судна з постійною кутовою швидкістю ω_p :

$$x_1 = \frac{V_1}{\omega_p} (\cos K_1 - \cos K_y), \quad y_1 = \frac{V_1}{\omega_p} (\sin K_y - \sin K_1),$$

де K_y - курс ухилення судна.

Складові прямолінійного руху цілі x_2 і y_2 виражаються очевидним чином:

$$x_2 = V_2 \tau \sin K_2, \quad y_2 = V_2 \tau \cos K_2,$$

де тривалість повороту $\tau = \frac{K_y - K_1}{\omega_p}$.

Отже, приріст відносних координат Δx_{ot} і Δy_{ot} в даному випадку:

$$\begin{aligned}\Delta x_{ot} &= \frac{V_1}{\omega_p} (\cos K_1 - \cos K_y) - V_2 \frac{K_y - K_1}{\omega_p} \sin K_2, \\ \Delta y_{ot} &= \frac{V_1}{\omega_p} (\sin K_y - \sin K_1) - V_2 \frac{K_y - K_1}{\omega_p} \cos K_2.\end{aligned}\quad (4.5)$$

З урахуванням одержаних приростів Δx_{ot} і Δy_{ot} по формулі (4.4) розраховується величина приросту Δd_d гранично-допустимої дистанції зближення для даної моделі обертального руху судна.

Проведемо чисельну оцінку значень приросту гранично-допустимої дистанції зближення Δd_d розглянутої моделі обертального руху судна. Як приклад візьмемо характеристики поворотності судна «Sheila Ann» при куті кладки керма 10° , які були одержані натурними спостереженнями в реальних умовах експлуатації [131]: $\omega_p = 0,5422$ градус/с. У прикладі розглянута наступна ситуація небезпечного зближення: $K_1 = 45^\circ$, $V_1 = 15$ вузлів, $K_2 = 315^\circ$, $V_2 = 20$ вузлів, $\alpha = 100^\circ$, $D = 3$ милі, $d_d = 1$ миля. У даній ситуації прогнозована дистанція найкоротшого зближення $D_{min} = 0,1$ милі. Зроблено розрахунок параметрів ухилення судна управо, в результаті розрахунку одержано $K_{oty} = 120^\circ$, $K_y = 98^\circ$. Тривалість повороту $\tau = 99,6$ с, приріст координат базового судна за цей час, x_1 , y_1 і цілі x_2 , y_2 розраховані за допомогою виразів (4.5):

$$x_1 = 703,6 \text{ м}, \quad y_1 = 228,7 \text{ м}, \quad x_2 = -724,3 \text{ м}, \quad y_2 = 723,7 \text{ м},$$

отже: $\Delta x_{ot} = 1427,9$ м, $\Delta y_{ot} = -495,0$ м, а також $S = 1511,2$ м, $\psi = -70,9^\circ$ і

$\Delta d_d = 0,154$ милі.

Розглянемо врахування інерційності при повороті судна у разі $V_1 > V_2$, коли оцінка небезпеки зближення і вибір курсу ухилення здійснюються за допомогою області Ω_d . За допомогою граничних курсів ухилення $K_{1j}^{(i)}$ ($i=1,2$; $j=1,2$), розрахованих з допомогою виразів (4.2) або (4.3), які залежать від d_d , проводиться початкова оцінка приросту Δd_d , для чого обчислюється відносний курс K_{oty} , відповідний граничному курсу $K_{1j}^{(i)}$, і прирости відносних координат Δx_{ot} і Δy_{ot} , а потім по формулі (4.4) знаходимо перше наближення приросту $\Delta d_d^{(1)}$. Надалі обчислюємо граничний курс $K_{1j}^{(i)}$ для граничної дистанції $d_d + \Delta d_d^{(1)}$, після чого по описаному алгоритму знаходимо друге наближення приросту $\Delta d_d^{(2)}$. Вказана процедура послідовних наближень здійснюється до тих пір, поки різниця приростів $\Delta d_d^{(n)} - \Delta d_d^{(n-1)}$ не виявиться рівною або менше заданої величини δd . Після цього граничні значення області Ω_d розраховуються по гранично-допустимій дистанції $d_d + \Delta d_d^{(n)}$.

У випадку $V_1 < V_2$ граничні значення курсу ухилення визначається відносними курсами $K_{ot*} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D}$ і $K_{ot}^* = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D}$, причому:

$$K_{y*} = K_{oty*} + \arcsin \left[\frac{V_2}{V_1} \sin(K_2 - K_{oty*}) \right],$$

$$K_y^* = K_{oty}^* + \arcsin \left[\frac{V_2}{V_1} \sin(K_2 - K_{oty}^*) \right].$$

Вибираючи відповідне граничне значення курсу ухилення розраховуються прирости координат базового судна x_1 , y_1 і цілі x_2 , y_2 , а також приріст відносних координат Δx_{ot} і Δy_{ot} , після чого по формулі (4.4) знаходимо перше наближення приросту $\Delta d_d^{(1)}$. Потім для граничної дистанції $d_d + \Delta d_d^{(1)}$

розраховується граничний відносний курс $K_{ot*} = \alpha - \arcsin \frac{d_d + \Delta d_d^{(1)}}{D}$ або

$K_{ot}^* = \alpha + \arcsin \frac{d_d + \Delta d_d^{(1)}}{D}$ і проводиться оцінка чергового значення приросту

$\Delta d_d^{(2)}$. Як і у попередньому випадку, значення $\Delta d_d^{(i)}$ уточнюється подальшими наближеннями із заданою точністю, після чого обчислюються межі підмножини $Mn1_{ot}$, які враховують інерційність судна при повороті з урахуванням постійної кутової швидкості повороту судна.

4.4. Урахування навігаційних перешкод при виборі параметрів стратегії розходження базового судна.

Якщо в районі небезпечного зближення судна з ціллю знаходиться навігаційна перешкода, то при виборі курсу ухилення для розходження базове судно повинне враховувати навігаційну небезпеку щоб уникнути аварійної події (наприклад, посадки на мілину). Розрізнятимемо два основні типи навігаційних небезпек: точкові і розподілені. Точкову навігаційну небезпеку характеризуватимемо координатами, а розподілену - координатами її центру і радіусом R_n , рівним максимальній відстані від центру до межі.

Допустимо, що в районі маневрування судна знаходиться точкова навігаційна небезпека. Її положення щодо судна визначається пеленгом α_n і дистанцією D_n , а небезпека зближення - гранично-допустимою дистанцією $\hat{D}_n$. Для того, щоб уникнути посадки на мілину при розходженні, судно повинне уникати курсів ухилення, ув'язнених між граничними значеннями курсів ухилення $K_{yn}^{(p)}$ і $K_{yn}^{(s)}$, які показані на рис. 4.8 і їх можна розрахувати за допомогою очевидних виразів:

$$K_{yn}^{(p)} = \alpha_n - \arcsin \frac{\hat{D}_n}{D_n}, \quad K_{yn}^{(s)} = \alpha_n + \arcsin \frac{\hat{D}_n}{D_n}.$$

Необхідні для розрахунку граничних курсів значення α_n і D_n можна знайти, знаючи координати судна φ_1, λ_1 , і точкової навігаційної перешкоди φ_n, λ_n , за допомогою наступних формул:

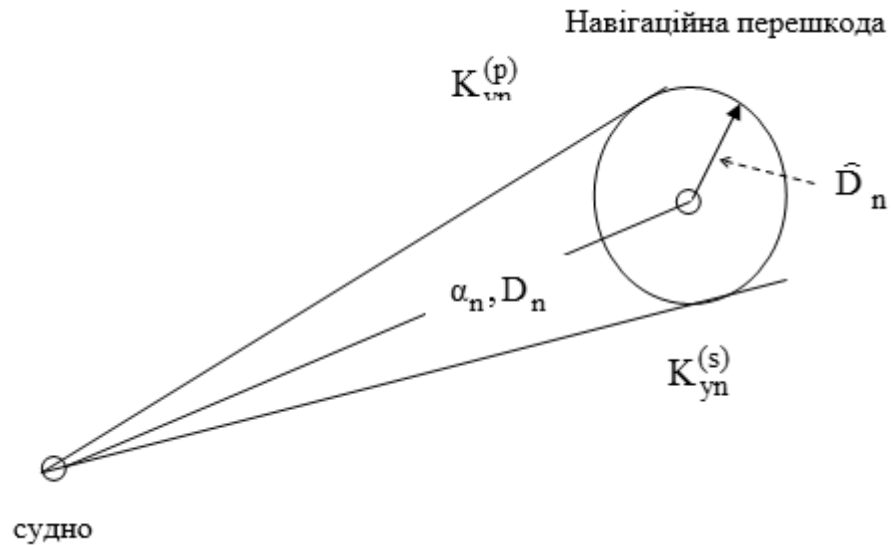


Рис. 4.8. Курси відхилення $K_{yn}^{(p)}$ і $K_{yn}^{(s)}$

$$D_{n1} = \sqrt{(\varphi_n - \varphi_1)^2 + (\lambda_n - \lambda_1)^2},$$

$$\alpha_{n1} = \arcsin \frac{\lambda_n - \lambda_1}{\cos \varphi_n D_{n1}}.$$

У разі небезпечного зближення судна з ціллю за наявності розподіленої навігаційної небезпеки граничні значення курсів ухилення $K_{yn}^{(p)}$ і $K_{yn}^{(s)}$ знаходяться таким чином (рис. 4.9):

$$K_{yn}^{(p)} = \alpha_n - \arcsin \frac{R_n + \hat{D}_n}{D_n}, \quad K_{yn}^{(s)} = \alpha_n + \arcsin \frac{R_n + \hat{D}_n}{D_n}.$$

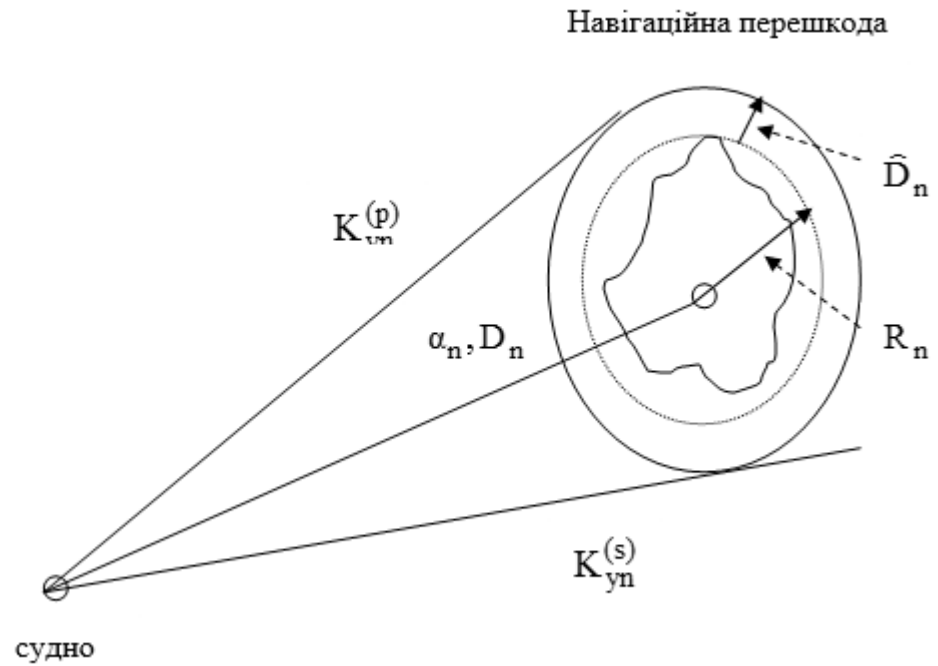


Рис. 4.9. Розподілена навігаційна небезпека

Якщо $V_1 > V_2$, то граничні курси ухилення $K_{yn}^{(p)}$ і $K_{yn}^{(s)}$ відображаються симетрично відносно до пеленга на центр мілини. Допустимо в ситуації зближення, розглянутої в першому прикладі (рис. 4.1), знаходиться навігаційна перешкода, облік якої визначається граничними курсами ухилення $K_{yn}^{(p)} = 95^\circ$ і $K_{yn}^{(s)} = 161^\circ$, як показано пунктирними лініями на рис. 4.10.

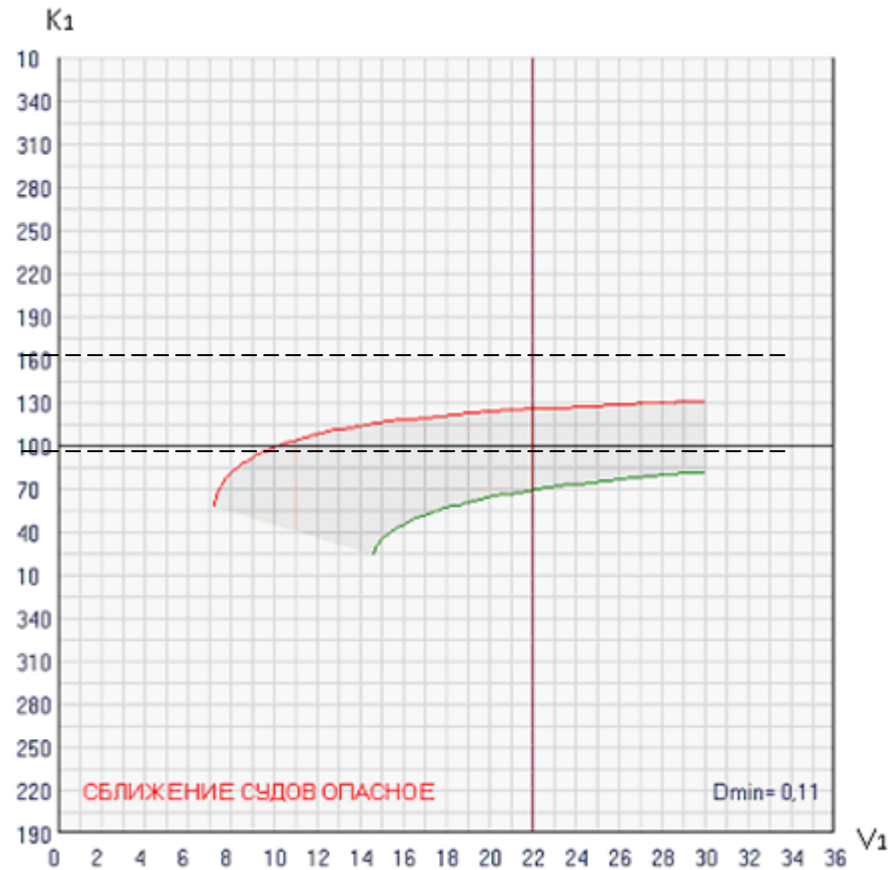


Рис. 4.10. Урахування навігаційної перешкоди при $V_1 > V_2$

Як випливає з рисунку, навігаційна небезпека додатково обмежує ухилення судна управо. Для виконання вимог МППЗС-72 якщо судно і ціль відносяться до суден з механічним двигуном, то судно повинне відхилитися управо на граничний курс $K_y = 161^\circ$. В цьому випадку судно безпечно розходиться з ціллю, минувши навігаційну небезпеку.

Якщо швидкість судна менше швидкості цілі, тобто $V_1 < V_2$, то оцінка небезпеки зближення і вибір маневру розходження проводяться за допомогою підмножин $Mn1_{ot}$ і $Mn2_{ot}$, які містять відносні курси. Тому для граничних курсів ухилення судна $K_{yn}^{(p)}$ і $K_{yn}^{(s)}$ потрібно розрахувати відносні

курсів за допомогою виразу [55]:

обох випадках враховуються інерційність судна при повороті і навігаційні небезпеки, що знаходяться в районі зближення.

4.5. Вибір стратегії розходження судна зміною швидкості.

Наявність навігаційних небезпек або суден, що заважають, при небезпечному зближенні судна з ціллю в стислих водах можуть створити ситуації, при яких розходження маневром зміни курсу неможливе, що обумовлює необхідність використання маневру розходження зміною швидкості. При цьому відбувається зниження швидкості судна шляхом активного або пасивного гальмування. Припустимо, що початкова ситуація небезпечного зближення суден для початкового моменту часу $t_0 = 0$ характеризується пеленгом α_0 і дистанцією D_0 . Оскільки пеленг α_0 задається з судна на ціль, то при формалізації задачі для судна доцільно прийняти початкові координати $X_{10} = 0$ і $Y_{10} = 0$. Очевидно, початкові координати цілі мають значення $X_{20} = D_0 \sin \alpha_0$ і $Y_{20} = D_0 \cos \alpha_0$. Приймаємо, що гальмування судна починається у момент часу t_0 і протягом часу гальмування τ швидкість зменшується до значення V_{1y} , після чого судно прямує з даною швидкістю до моменту часу найкоротшого зближення. Потім судно збільшує швидкість до початкового значення V_1 . Слід визначити максимальне значення швидкості розходження V_{1y} , яку позначимо V_{1ym} , яка забезпечує рівність дистанції найкоротшого зближення з гранично-допустимою дистанцією, тобто $\min D = d_d$.

Після нульового моменту часу $t_0 = 0$ до закінчення перехідного процесу гальмування координати судна і цілі змінюються на величини відповідно ΔX_1 , ΔY_1 та ΔX_2 , ΔY_2 , причому:

$$\Delta X_1 = S \sin K_1; \Delta Y_1 = S \cos K_1;$$

$$\Delta X_2 = V_2 \tau \sin K_2; \quad \Delta Y_2 = V_2 \tau \cos K_2,$$

де τ і S - відповідно тривалість перехідного процесу і пройдена судном відстань за цей час. Очевидно, координати судна і цілі на момент часу τ визначаються наступними виразами:

$$\begin{aligned} X_1(\tau) &= X_{10} + \Delta X_1 = S \sin K_1; \quad Y_1(\tau) = Y_{10} + \Delta Y_1 = S \cos K_1; \\ X_2(\tau) &= X_{20} + \Delta X_2 = D_0 \sin \alpha_0 + V_2 \tau \sin K_2; \quad Y_2(\tau) = D_0 \cos \alpha_0 + V_2 \tau \cos K_2, \end{aligned}$$

причому параметри руху судна, як і відносний курс $K_{отр}$, стають незмінними, а дистанція найкоротшого зближення суден

$$D_{min} = \text{Abs}[D_p \sin(K_{отр} - \alpha_p)], \quad (4.6)$$

у якій значення пеленгу α_p і дистанції D_p на момент часу τ закінчення перехідного процесу зміни швидкості судна визначаються виразами:

$$\begin{aligned} D_p &= \sqrt{(X_1(\tau) - X_2(\tau))^2 + (Y_1(\tau) - Y_2(\tau))^2}; \\ \alpha_p &= \arcsin \frac{X_1(\tau) - X_2(\tau)}{D_p}. \end{aligned}$$

Оскільки значення параметрів гальмування τ і S залежать від пониженої швидкості V_{1y} , то пошук оптимальної швидкості V_{1ym} слід здійснювати за допомогою наступної процедури. Спочатку в якості V_{1y} вибирається мінімальна швидкість судна V_{1ymin} , при якій воно управляється. Для цього значення швидкості розраховуються величини τ , S і $K_{отр}$, за допомогою яких по фор-

мулі (4.6) обчислюється значення $D_{\min}(V_{lymin})$. Якщо $D_{\min}(V_{lymin})$ рівно або більше величини d_d , то існує безліч допустимих маневрів розходження за допомогою швидкості V_{ly} . Інакше слід вибрати інший маневр розходження (наприклад, зміною курсу і швидкості). У випадку $D_{\min}(V_{lymin}) > d_d$ слід збільшити швидкість V_{ly} на величину ΔV_{ly} і розрахувати значення $D_{\min}(V_{lymin} + \Delta V_{ly})$, яке порівнюється з величиною d_d . Швидкість V_{ly} покроково збільшується до тих пір, поки наступить рівність $D_{\min}(V_{lymin} + n\Delta V_{ly}) = d_d$. Тому $V_{lymin} + n\Delta V_{ly} = V_{lym}$ - оптимальне значення швидкості розходження судна.

Для пошуку оптимального значення швидкості ухилення V_{lym} судна необхідно використовувати аналітичні вирази для параметрів активного і пасивного гальмування τ і S залежно від швидкості ухилення V_{ly} , чому присвятимо подальшу частину дисертаційного дослідження, використовуючи результати роботи [4].

Як вказується в роботі [4], активне гальмування судна при постійному курсі з достатньою для практики точністю описується диференціальним рівнянням залежності швидкості судна V від упору гвинта P , причому сила упору гвинта співпадає по знаку з силою опору:

$$(1+k)m \frac{dV}{dt} + \mu V^2 + P = 0,$$

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

μ - коефіцієнт опору.

Дане рівняння перетворимо до вигляду із змінними, що розділяються:

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{dV}{V^2 + \frac{P}{\mu}} = -dt. \quad (4.7)$$

Після інтегрування обох частин рівняння одержимо:

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} \operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V\right) = -t + C. \quad (4.8)$$

Постійна інтегрування C визначається початковими умовами при $\tau = 0$, в цьому випадку $V = V_1$ і:

$$C = \frac{(1+k)m}{\mu} \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} \operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1\right).$$

Тому з (4.8) одержимо:

$$\tau = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} \left[\operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V\right) \right]. \quad (4.9)$$

Одержане рівняння характеризує залежність часу τ при зміні швидкості судна від початкового значення V_1 до вибраного значення V при активному гальмуванні.

З рівняння (4.9) одержуємо залежність поточної швидкості судна V від часу t при активному гальмуванні, причому:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V\right) = \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m} t, \quad \text{звідки}$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1\right) - \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m} t.$$

або

$$\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V = \operatorname{tg}\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1\right) - \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m} t\right].$$

Остаточно одержимо:

$$V = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{\mu}} \operatorname{tg}\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1\right) - \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m} t\right].$$

Дистанція S , яку судно проходить до зупинки при активному гальмуванні, визначається з очевидного співвідношення $t = \frac{S}{V}$, звідки слідує $dt = \frac{dS}{V}$ і рівняння (4.7) приймає вигляд:

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{dV}{V^2 + \frac{P}{\mu}} = -\frac{dS}{V}, \text{ або}$$

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{VdV}{V^2 + \frac{P}{\mu}} = -dS.$$

Після інтегрування даного рівняння одержимо:

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \int \frac{VdV}{V^2 + \frac{P}{\mu}} = -S + C. \quad (4.10)$$

Очевидно,

$$\int \frac{VdV}{V^2 + \frac{P}{\mu}} = \left| \begin{matrix} x = V^2 + \frac{P}{\mu} \\ dx = 2VdV \end{matrix} \right| = \frac{1}{2} \int \frac{dx}{x} = \frac{1}{2} \ln|x| = \frac{1}{2} \ln \left| V^2 + \frac{P}{\mu} \right|.$$

Вираз (4.10) приймає вигляд:

$$\frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| V^2 + \frac{P}{\mu} \right| = -S + C.$$

Постійну інтегрування C знаходимо з початкових умов ($S = 0$):

$$C = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| V_1^2 + \frac{P}{\mu} \right|.$$

Тому одержимо вираз:

$$S = \frac{(1+k)m}{2\mu} \left[\ln \left| V_1^2 + \frac{P}{\mu} \right| - \ln \left| V^2 + \frac{P}{\mu} \right| \right],$$

або остаточно:

$$S = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V^2 + \frac{P}{\mu}} \right|.$$

У разі пасивного гальмування сила упору гвинта рівна нулю і початкове диференціальне рівняння руху судна приймає наступний вигляд:

$$(1+k)m \frac{dV}{dt} + \mu V^2 = 0, \quad \text{або}$$

$$(1+k)m \frac{dV}{dt} = -\mu V^2.$$

Після розділення змінних:

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{dV}{V^2} = -dt. \quad (4.11)$$

Інтегруючи дане рівняння, одержимо:

$$-\frac{(1+k)m}{\mu V} = -\tau + C. \quad (4.12)$$

При $t=0$ $V = V_1$, тому постійна інтегрування C приймає наступний вигляд:

$$C = -\frac{(1+k)m}{\mu V_1},$$

тому із виразу (4.12) одержимо:

$$\tau = \frac{(1+k)m}{\mu} \left(\frac{1}{V} - \frac{1}{V_1} \right), \quad (4.13)$$

або вираз для τ при пасивному гальмуванні:

$$\tau = \frac{(1+k)m}{\mu V_1} \left(\frac{V_1}{V} - 1 \right), \quad (4.14)$$

де V - вибрана швидкість судна в кінці гальмування.

Залежність швидкості судна від часу при пасивному гальмуванні знаходиться з виразу (4.13):

$$\frac{1}{V} - \frac{1}{V_1} = \frac{\mu}{(1+k)m} t, \quad \text{або}$$

$$\frac{V_1}{V} = 1 + \frac{V_1 \mu}{(1+k)m} t, \text{ звідки}$$

$$V = \frac{V_1}{1 + \frac{V_1 \mu}{(1+k)m} t}.$$

За допомогою формули (4.11) одержимо вираз для дистанції S , яку судно проходить при пасивному гальмуванні. Для цього скористаємося співвідношенням $dt = \frac{dS}{V}$. Підставляємо його в праву частину рівняння (4.11):

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{dV}{V^2} = -\frac{dS}{V}.$$

Після розділення змінних:

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{VdV}{V^2} = -dS.$$

Інтегруючи дане рівняння, одержимо:

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \int \frac{VdV}{V^2} = -S + C. \quad (4.15)$$

Проведемо заміну змінної:

$$V^2 = x, \quad dx = 2VdV.$$

Рівняння (4.15) приймає вигляд:

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{1}{2} \int \frac{dx}{x} = -S + C, \text{ або}$$

$$\frac{(1+k)m}{\mu} \frac{1}{2} \ln|V^2| = -S + C.$$

З урахуванням початкових умов $t=0$, $S_0=0$ і $V=V_1$ з останнього рівняння знаходимо постійну інтегрування C :

$$C = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln |V_1^2|.$$

З урахуванням одержаного виразу можна записати:

$$S = \frac{(1+k)m}{2\mu} (\ln |V_1^2| - \ln |V^2|),$$

звідки одержимо:

$$S = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V^2} \right|,$$

де V - швидкість судна в завершенні пасивного гальмування.

Розрахункові формули для активного і пасивного гальмування приведені в табл. 4.1.

Таким чином, використовуючи одержані вирази для часу τ і відстані S при активному і пасивному гальмуванні, за раніше розглянутою ітераційною процедурою послідовних наближень розраховуємо значення оптимальної швидкості ухилення V_{1ym} .

Таблиця 4.1

Розрахункові формули τ і S судна в різних режимах руху

	Активне гальмування	Пасивне гальмування
Поточна швидкість	$V = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{\mu}} \operatorname{tg}[\operatorname{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m} t]$	$V = \frac{V_1}{1 + \frac{V_1 \mu}{(1+k)m} t}$
Час гальмування	$\tau = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} [\operatorname{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \operatorname{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V)]$	$\tau = \frac{(1+k)m}{\mu V_1} (\frac{V_1}{V} - 1)$
Пройдена відстань	$S = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V^2 + \frac{P}{\mu}} \right $	$S = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left \frac{V_1^2}{V^2} \right $

У випадку $D_{\min}(V_{lymin}) < d_d$ безпечне розходження судна з ціллю неможлива в гранично-допустимій дистанції зближення. Тому необхідно вибрати інший курс судна K_{ly} і у разі існування для нього безпечного маневру розходження зміною швидкості йому відповідає оптимальна швидкість ухилення V_{lym} , при якій дистанція найкоротшого зближення рівна гранично-допустимій дистанції $\min D = d_d$. Сукупність крапок (K_{ly}, V_{lym}) є межею неприпустимої області Θ_{dV} , на якій досягається рівність $\min D = d_d$, а всередині – поєднання параметрів K_{ly} і V_{ly} не забезпечують безпечного розходження маневром зміни швидкості судна гальмуванням. Знайдемо процедуру формування межі області Θ_{dV} , враховуючи умову $\min D = d_d$. Підставляємо вираз для $\min D$ і одержимо:

$$\Delta D_p \sin(\alpha_p - K_{отр}) = d_d,$$

де $\Delta = \text{sign}[\sin(\alpha_p - K_{отр})]$.

З останнього виразу маємо:

$$\sin(\alpha_p - K_{отр}) = \frac{d_d}{\Delta D_p}, \quad \alpha_p - K_{отр} = \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p}, \text{ звідки}$$

$$\alpha_p = K_{отр} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p}.$$

Підставляємо вираз для α_p :

$$\text{Arcsin} \frac{X_1(\tau) - X_2(\tau)}{D_p} = K_{отр} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p},$$

з якого одержимо:

$$\frac{X_1(\tau) - X_2(\tau)}{D_p} = \sin(K_{отр} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p}).$$

Обидві частини рівняння помножимо на D_p :

$$X_1(\tau) - X_2(\tau) = [\sin(K_{отр} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] D_p, \text{ звідки}$$

$$X_2(\tau) = X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отп}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] D_p, \quad (4.16)$$

або після підстановки $X_2(\tau)$:

$$\tau = \frac{1}{V_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отп}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] D_p\}. \quad (4.17)$$

Розглянемо одержаний вираз для режимів активного і пасивного гальмування. У разі активного гальмування:

$$\tau = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} [\text{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \text{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{1y})],$$

тому із виразу (4.17):

$$\begin{aligned} \text{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{1y}) &= \text{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_1) - \rightarrow \\ &- \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m V_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отп}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] / D_p\} \}, \end{aligned}$$

або вираз для розрахунку V_{1y} методом простих ітерацій:

$$\begin{aligned} V_{1y} &= \sqrt{\frac{P}{\mu}} \text{tg} \{ \text{arctg}(\sqrt{\frac{\mu}{P}} V_1) - \rightarrow \\ &- \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m V_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{\text{отп}} + \text{Arcsin} \frac{d_d}{\Delta D_p})] / D_p\} \}, \end{aligned} \quad (4.18)$$

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

$$D_p = \sqrt{(X_1(\tau) - X_2(\tau))^2 + (Y_1(\tau) - Y_2(\tau))^2}, \quad (4.19)$$

причому

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

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

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

У разі пасивного гальмування:

$$\tau = \frac{(1+k)m}{\mu V_o} \left(\frac{V_1}{V_{ly}} - 1 \right)$$

і вираз (4.17) приймає вигляд:

$$\frac{V_1}{V_{ly}} = 1 + \frac{\mu V_1}{(1+k)m V_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{отп} + \operatorname{Arc} \sin \frac{d_d}{\Delta D_p})] / D_p \},$$

звідки одержимо вираз для розрахунку V_{ly} методом простих ітерацій:

$$V_{ly} = \frac{V_1}{1 + \frac{\mu V_1}{(1+k)m V_2 \sin K_2} \{X_1(\tau) - [\sin(K_{отп} + \operatorname{Arc} \sin \frac{d_d}{\Delta D_p})] / D_p \}}, \quad (4.20)$$

$$\text{де } X_1(\tau) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{ly}^2} \right| \sin K_{ly}, \quad D_p \text{ визначається виразом (4.19),}$$

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

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

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

Таким чином, межу неприпустимої області Θ_{dV} швидкостей V_{ly} і курсів K_{ly} методом простих ітерацій для активного гальмування слід розраховувати по формулі (4.18), а у разі пасивного гальмування - по формулі (4.20).

Для формування області Θ_{dV} і розрахунку її меж була розроблена комп'ютерна програма. Як приклад, була розглянута ситуація небезпечного зближення судна з ціллю з параметрами: $D=2,1$ милі, $\alpha=190^\circ$, $K_1=140^\circ$, $K_2=56^\circ$, $V_1=15$ вузлів, $V_2=20$ вузлів, $d_d=1$ миля, яка показана на рис. 4.12.

Розрахунок межі небезпечної області Θ_{dV} для активного гальмування проводився методом простих ітерацій по формулі (4.18), а результати розрахунку області Θ_{dV} показані на рис. 4.14. З рисунку видно, що при незмінному початковому курсі $K_1=140^\circ$ судна оптимальна швидкість розходження при активному гальмуванні рівна 6 вузлам. Звертаємо увагу, що при курсах судна менше 63° і більше 195° можлива безпечна розходження з ціллю без зниження швидкості судна.

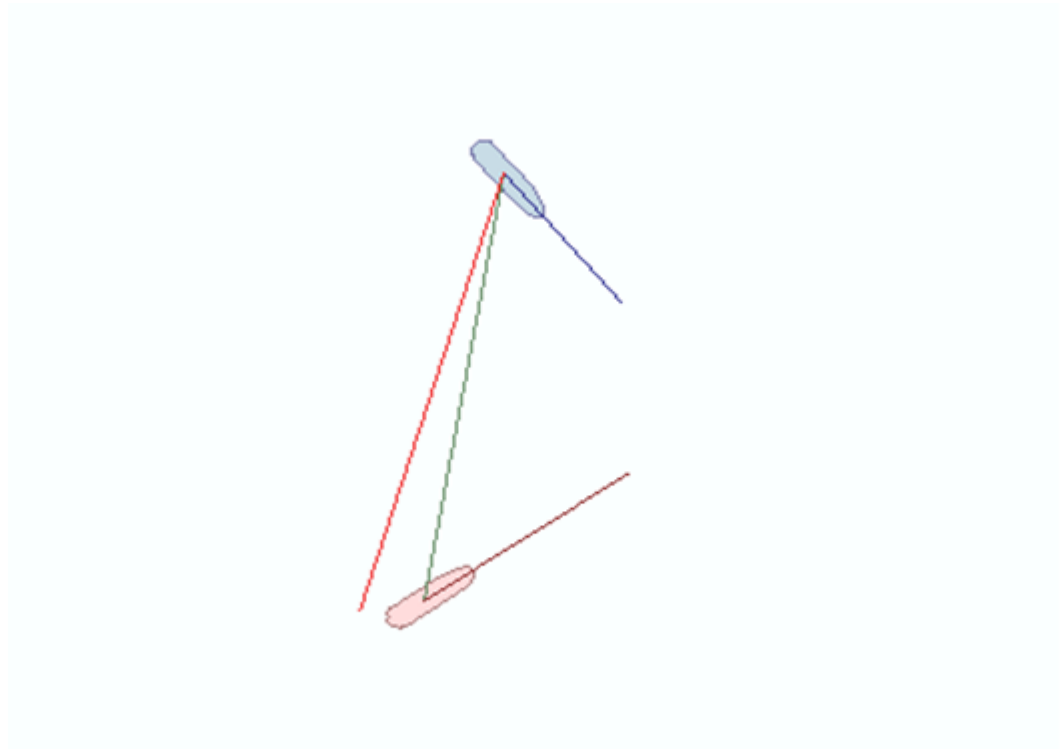


Рис. 4.12. Ситуація небезпечного зближення судна і цілі

У разі пасивного гальмування межа небезпечної області Θ_{dV} розраховується методом простих ітерацій за допомогою виразу (4.20). Для небезпечної ситуації зближення розглянутої раніше, як приклад, була розрахована межа

області Θ_{dV} при пасивному гальмуванні, яка показана на рис. 4.13. Як впливає зведеного рисунку, при незмінному початковому курсі судна $K_1 = 140^\circ$ безпечне розходження з ціллю можливе при зниженні швидкості пасивним гальмуванням до величини 0,4 вузла, тобто практично зупинкою судна.

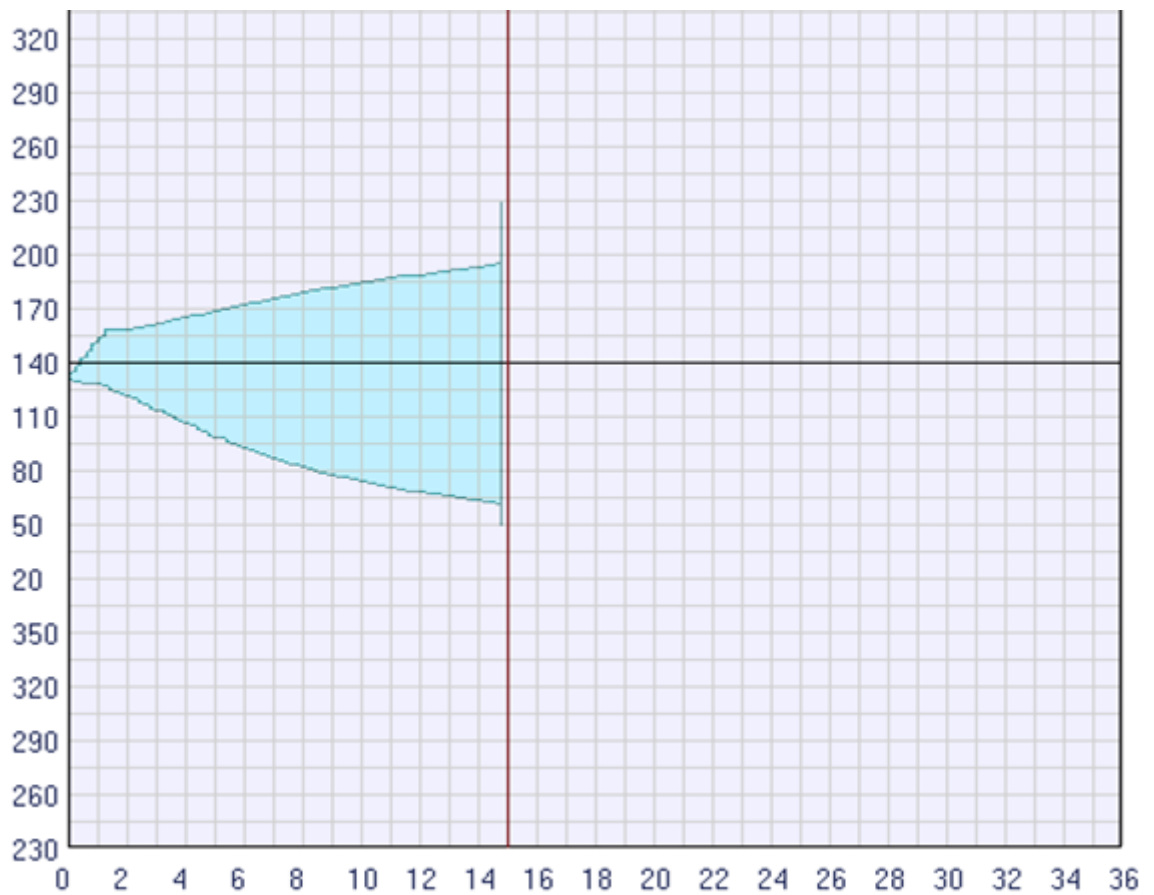


Рис. 4.13. Небезпечна область Θ_{dV} при пасивному гальмуванні судна.

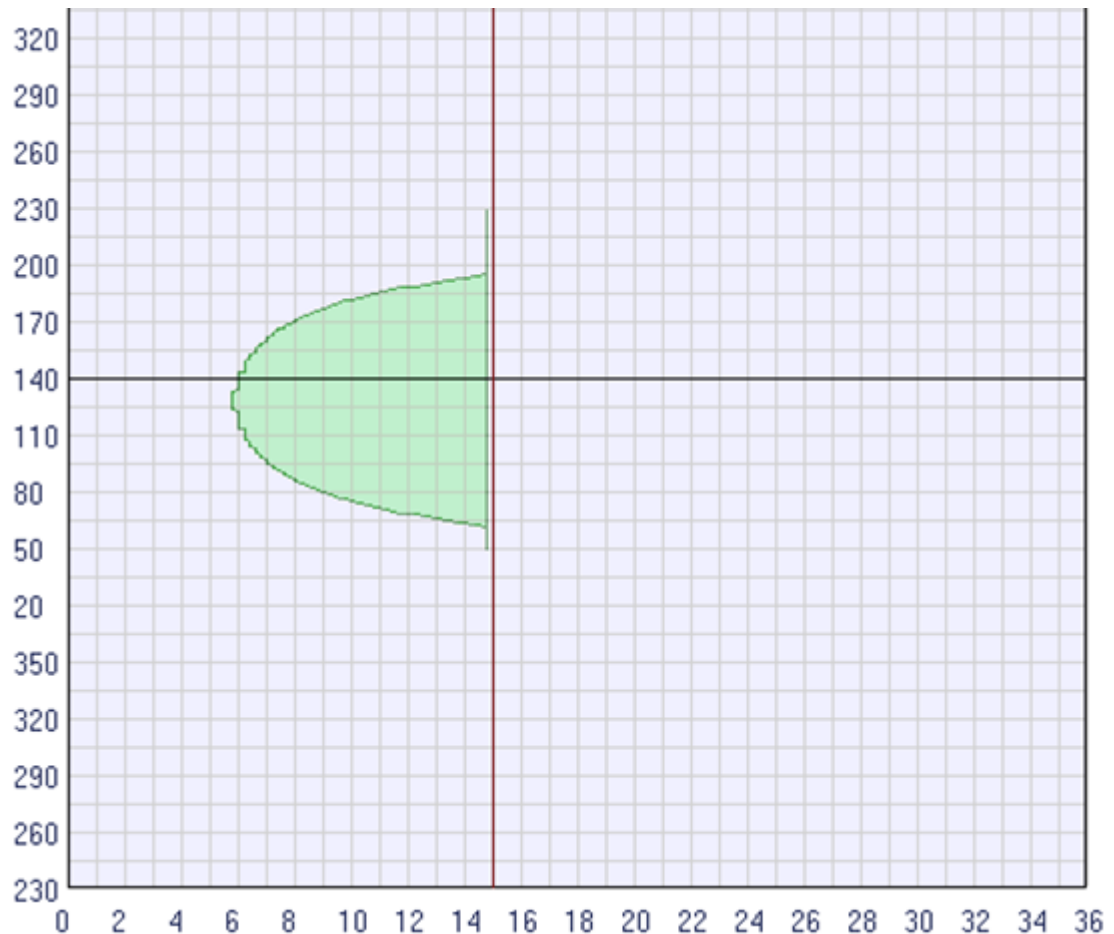


Рис. 4.14. Небезпечна область Θ_{dV} при активному гальмуванні судна

Якщо активним або пасивним гальмуванням судна при початковому курсі розходження неможливе, то необхідно визначити інший курс і відповідну йому оптимальну швидкість за допомогою небезпечної області Θ_{dV} . Як приклад розглянемо небезпечне зближення судна і цілі з параметрами $D=3,0$ милі, $\alpha=145^\circ$, $K_1=120^\circ$, $K_2=350^\circ$, $V_1=15$ вузлів, $V_2=20$ вузлів, $d_d=1$ миля. Небезпечна область Θ_{dV} при активному гальмуванні судна в даній ситуації зближення показана на рис. 4.15, з якого видно, що при початковому курсі судна $K_1=120^\circ$ розходження активним гальмуванням неможлива. Тому можливий маневр зупинкою судна активним гальмуванням на найближчому курсі $K_{1y}=138^\circ$, відповідному швидкості $V_{1y}=0$.

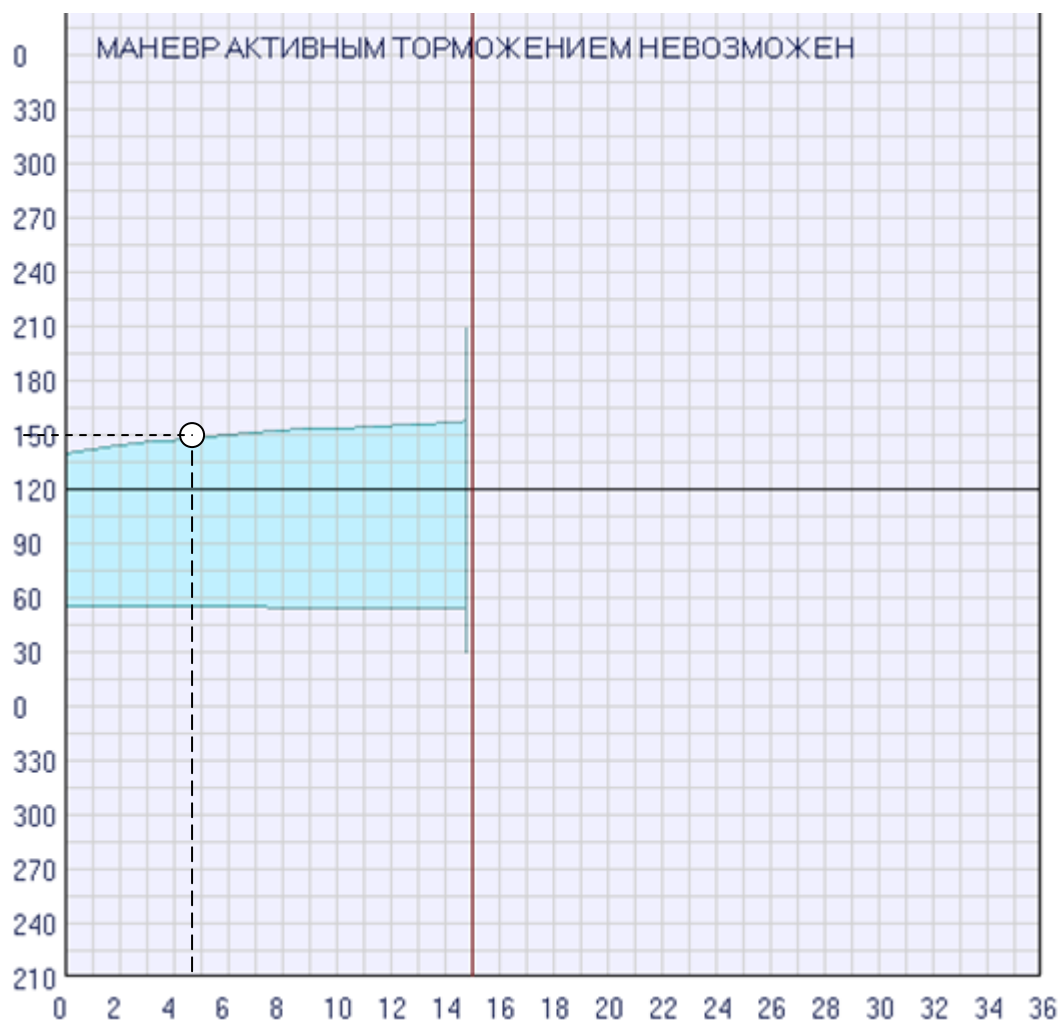


Рис. 4.15. Область Θ_{dV} при активному гальмуванні судна при $K_l = 120^\circ$

При ухиленні судна управо на курс $K_{ly} = 150^\circ$ безпечне розходження можливе при оптимальній швидкості $V_{lym} = 6$ вузлів (рис. 4.15), причому вказані параметри маневру розходження є координатами точки, яка знаходиться на межі області Θ_{dV} .

Таким чином, за допомогою небезпечної області Θ_{dV} можна оцінити можливість безпечного розходження маневром активного або пасивного гальмування судна на початковому курсі плавання. У разі потреби можна вибрати інший курс ухилення і оптимальну швидкість гальмування, які відповідають крапці, належній межі області Θ_{dV} .

4.6. Висновки по четвертому розділу.

На початку розділу розглянуто формування повної стратегії розходження судна з небезпечною ціллю при локально - незалежному управлінні процесом розходження, яка враховує вимоги системи бінарної координації взаємодії суден. Залежно від розвитку процесу розходження і поведінки цілі базове судно використовує один з раніше передбачених варіантів маневру розходження.

Для оперативного аналізу небезпеки ситуації зближення запропонована область неприпустимих параметрів руху судна і її графічне відображення, а також розроблена процедура вибору маневру безпечного маневру розходження зміною курсу судна. Досліджено вплив інерційності судна при повороті на безпеку розходження і запропонований алгоритм урахування інерційності при повороті за допомогою способу послідовних наближень при допущенні постійності кутової швидкості повороту судна. Запропонована процедура вибору маневру розходження зміни курсу судна за допомогою області неприпустимих параметрів його руху відрізняється простотою і наочністю.

При плаванні в стислих водах за наявності навігаційних небезпек передбачений спосіб їх урахування при виборі параметрів стратегії розходження базового судна. Розглянуті два типи навігаційних небезпек, до яких відносяться точкові і розподілені.

Для ситуацій, коли судно обмежене в можливості зміни курсу запропонована процедура вибору стратегії розходження судна зміною його швидкості активним або пасивним гальмуванням, причому за допомогою неприпустимої області курсів і швидкостей запропонована процедура вибору максимальної швидкості при гальмуванні судна при заданому курсі плавання судна, яка є оптимальною, оскільки мінімізує втрати ходового часу судна виконання маневру безпечного розходження зміною швидкості.

В розділі приведений ряд чисельних прикладів, що служать для пояснення одержаних теоретичних результатів.

РОЗДІЛ 5.

РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ПРОЦЕСУ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН.

5.1. Опис комп'ютерної імітаційної програми вибору маневру розходження судна за допомогою області неприпустимих параметрів його руху.

Одержані в дисертаційній роботі теоретичні результати дозволили розробити спосіб оцінки ступеня небезпеки ситуації зближення судна з ціллю і вибору маневру його розходження за допомогою області неприпустимих параметрів руху, реалізований в комп'ютерній програмі.

Крім цього комп'ютерна імітаційна програма містить модуль моделювання процесу розходження судна з ціллю при небезпечному зближенні, використовуючи одержану стратегію розходження, що дозволяє перевірити коректність одержаного розробленим способом безпечного маневру розходження з використанням області неприпустимих параметрів руху судна.

В першу чергу розглянемо процедуру вибору за допомогою комп'ютерної програми безпечного маневру розходження, яка імітується першим модулем комп'ютерної програми. Спочатку слід задати початкову ситуацію небезпечного зближення судна і цілі, для чого необхідно ввести початкові пеленг і дистанцію, а також параметри руху судна і цілі. Перед початком введення параметрів початкової ситуації зближення на екран монітора виводиться схема початкової ситуації небезпечного зближення, що показане на рис. 5.1. Параметри початкової ситуації зближення підібрані таким чином, що вона є небезпечною, тобто прогнозована дистанція найкоротшого зближення менше гранично-допустимої дистанції.

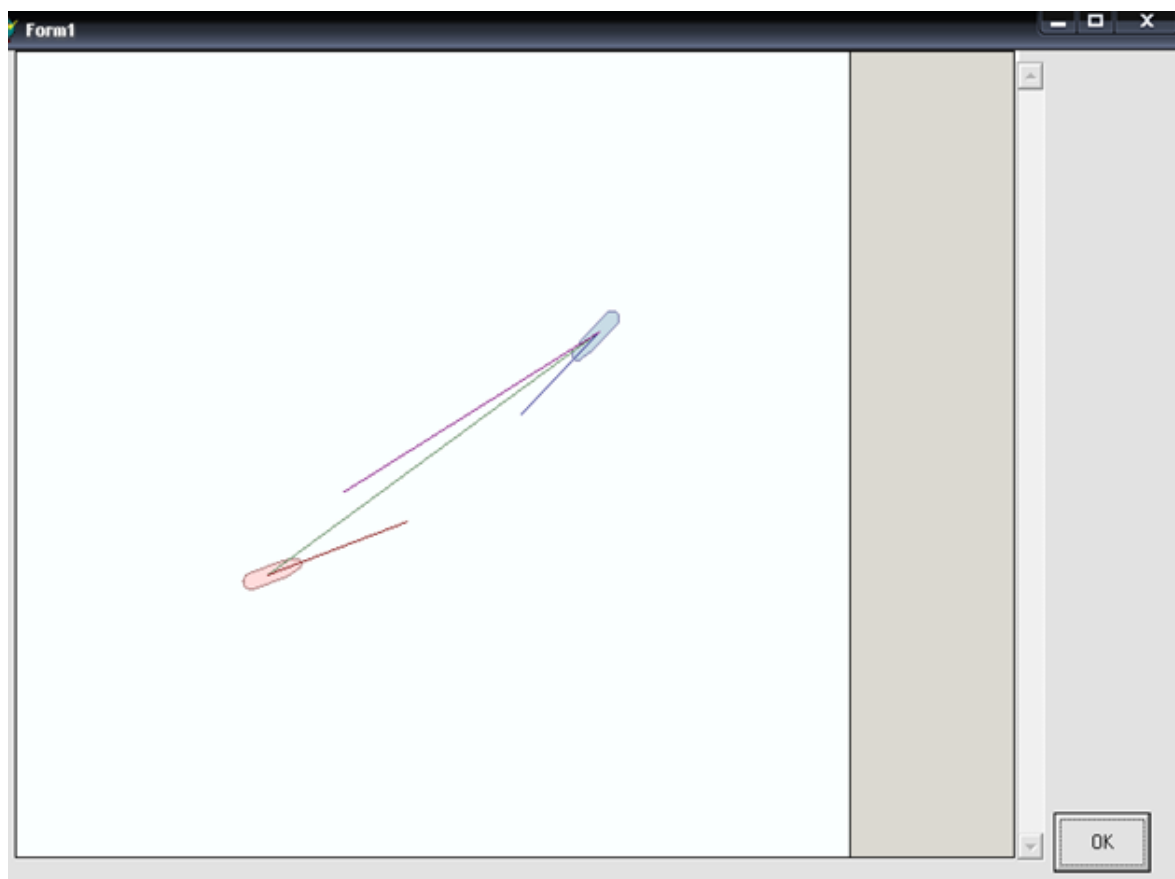


Рис. 5.1. Старт комп'ютерної імітаційної програми

Для введення параметрів ситуації зближення необхідно «кликнути» клавішу «ОК», після чого відбувається ініціалізація клавіш для введення параметрів ситуації зближення і на інформаційних панелях відображаються початкові значення параметрів руху суден, дистанція між ними і дистанція найкоротшого зближення, як впливає з рис. 5.2. Причому за умовчанням прийняті наступні значення параметрів ситуації небезпечного зближення: пеленг $\alpha_{12}=235^\circ$, дистанція $D_{12}=3$ милі, параметрами руху суден $K_1=225^\circ$, $K_2=70^\circ$, $V_1=15$ вузлів, $V_2=20$ вузлів. Дистанція найкоротшого зближення 0,225 милі (рис. 5.2).

Для введення вибраного параметра, як показано на рис. 5.3, потрібно «кликнути» відповідну клавішу. На рис. 5.3, як приклад, вибраний пеленг, після вибору відповідної клавіші «A12» значення пеленгу вводиться лінійкою

Form1

1 K1=225 V1=15
2 K2=70 V2=20

Dmin12 = 0,2

A12
D12
K1
V1
A= 235
D= 3

OK

Рис. 5.2. Початок введення параметрів ситуації зближення

Form1

1 K1=225 V1=15
2 K2=70 V2=20

Dmin12 = 0,2

A12
D12
K1
V1
A= 235
D= 3

OK

Рис. 5.3. Введення значення пеленгу ситуації небезпечного зближення

прокрутки (Scroll Bar), причому відбувається зміна ситуації, що відображається, залежно від значень параметрів, що вводяться, а значення пеленгу, який вводиться, відображається на клавіші параметра. За допомогою другої клавіші «D12» вибирається дистанція між судном і ціллю, а за допомогою лінійки прокрутки вводиться її значення.

За допомогою третьої клавіші «K1» і лінійки прокрутки для генерації небезпечної ситуації зближення вводиться курс першого судна 120° (рис. 5.4). При повторному використанні цієї клавіші лінійкою прокрутки вводиться курс другого судна. При цьому прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення рівне 0,088 милі, що менше гранично-допустимої дистанції, яка дорівнює 1 милі. Клавішею «V1» проводиться вибір швидкостей судна і цілі.

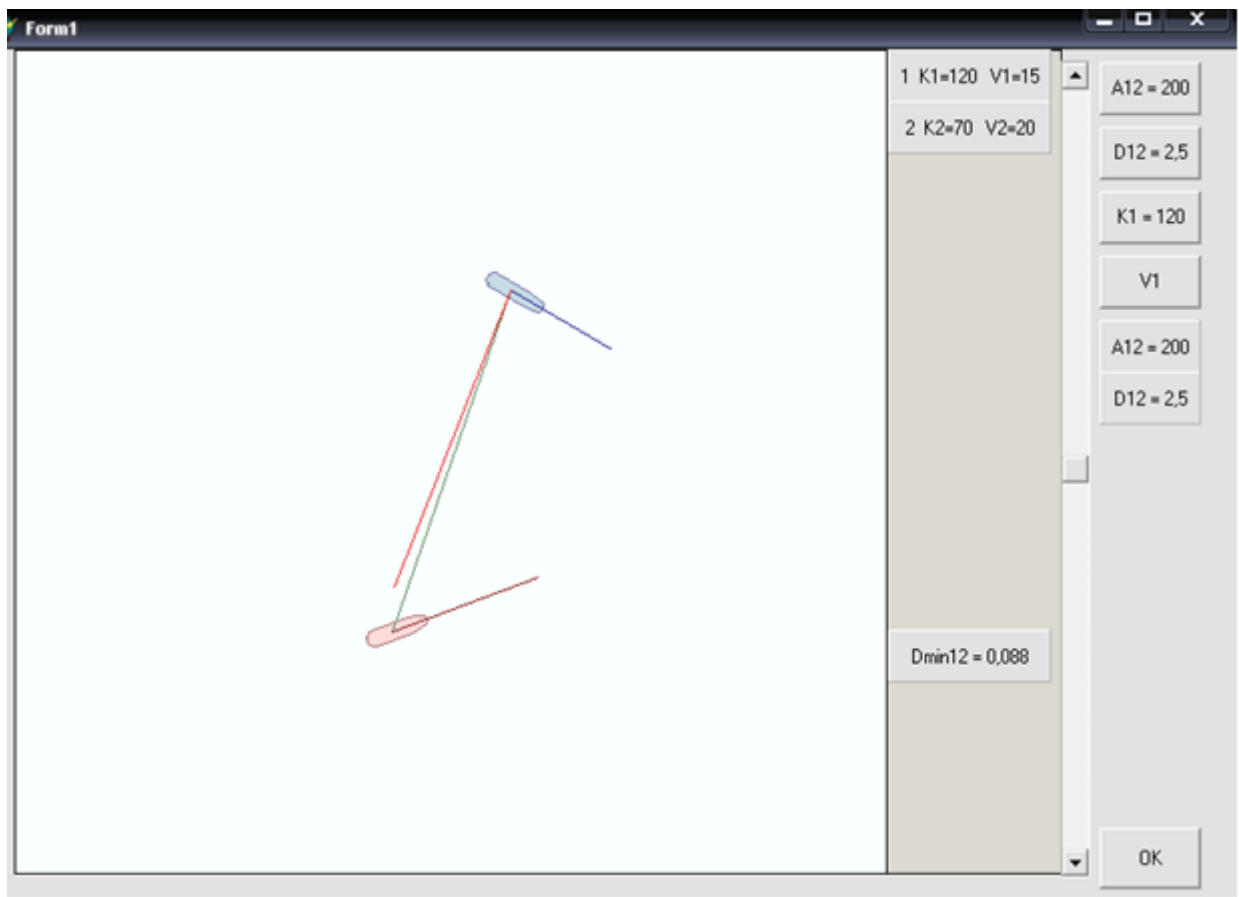


Рис. 5.4. Введення курсів судна і цілі

Після завершення формування небезпечної ситуації зближення суден слід повторно скористатися клавішею «OK», внаслідок чого на екран виводиться область небезпечних параметрів руху судна, що показано на рис. 5.5. Також ініціалізуються клавіші «Situation» і «New» для оцінки ситуації зближення і вибору нової ситуації зближення. Також відбувається ініціалізація клавіші «>/< ty=0», за допомогою якої вводиться час початку маневру, що впливає на форму області небезпечних параметрів руху судна.

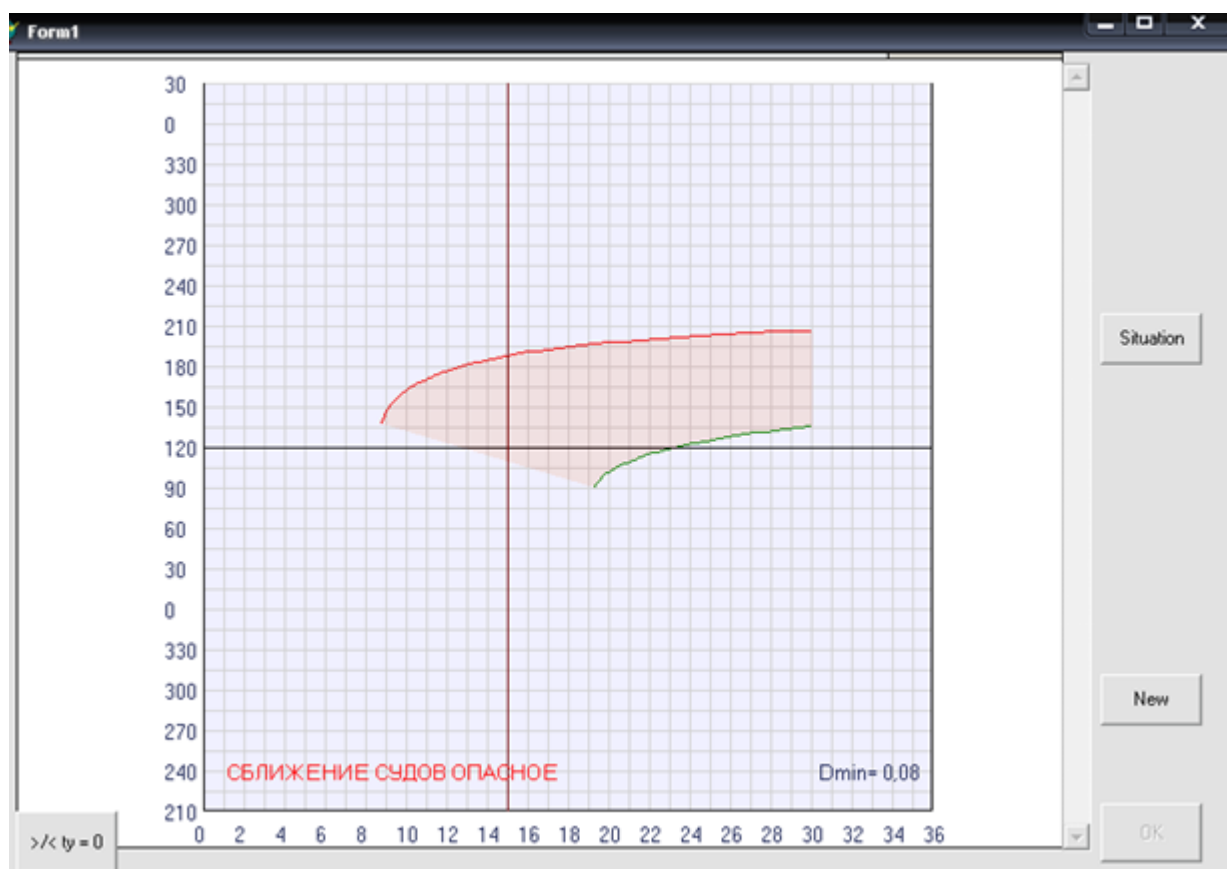


Рис. 5.5. Область небезпечних параметрів руху судна

Як видно з рис. 5.5, точка початкових значень курсу і швидкості судна належить області його небезпечних параметрів руху, що свідчить про необхідність маневру розходження. Для введення часу початку маневру необхідно «кликнути» клавішу «>/< ty=0», що активізує клавішу «>» (рис. 5.6), а після її натиснення час початку маневру збільшується на 30 с. На рис. 5.7 пока-

зано, що в результаті п'ятикратного використання клавіші «>» час початку маневру збільшено до 150 с. Для зменшення часу початку маневру слід повторно «кликнути» клавішу «>/< $t_y=0$ » і активізується клавіша «<», використання якої зменшує значення часу початку маневру на 30 с. Так на рис. 5.8 ілюструється зниження значення часу початку маневру до 90 с. Звертаємо увагу, що зміна часу початку маневрування впливає на розміри області неприпустимих параметрів руху судна.

Після закінчення вибору значення часу початку маневру необхідно скористатися клавішею «Situation» для оцінки ситуативного збурення, яке виникає в заданій ситуації небезпечного зближення. У приведеному прикладі, як впливає з рис. 5.9, значення ситуативного збурення рівне 2, а розходження судна з ціллю можлива тільки його ухиленням управо.

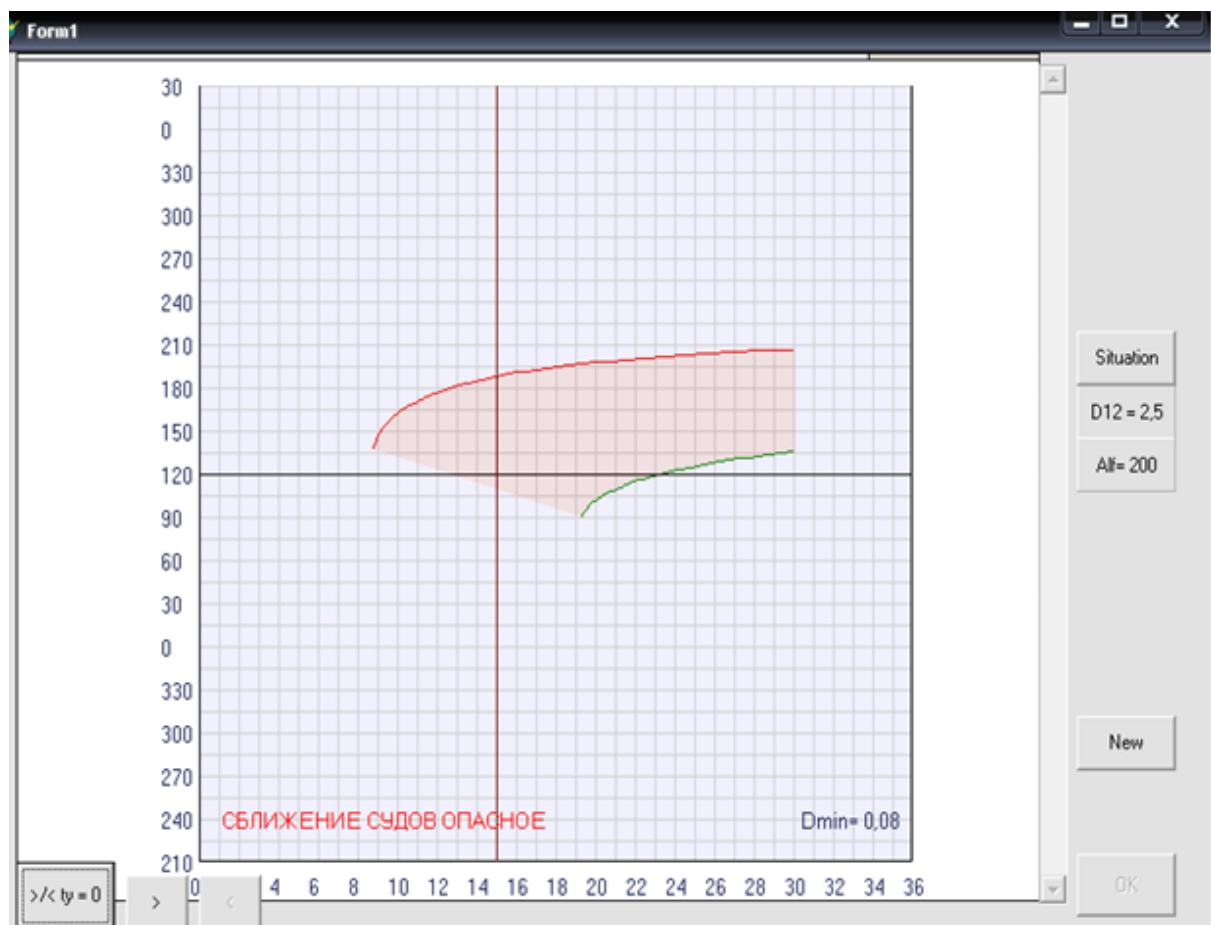


Рис. 5.6. Введення часу початку маневру

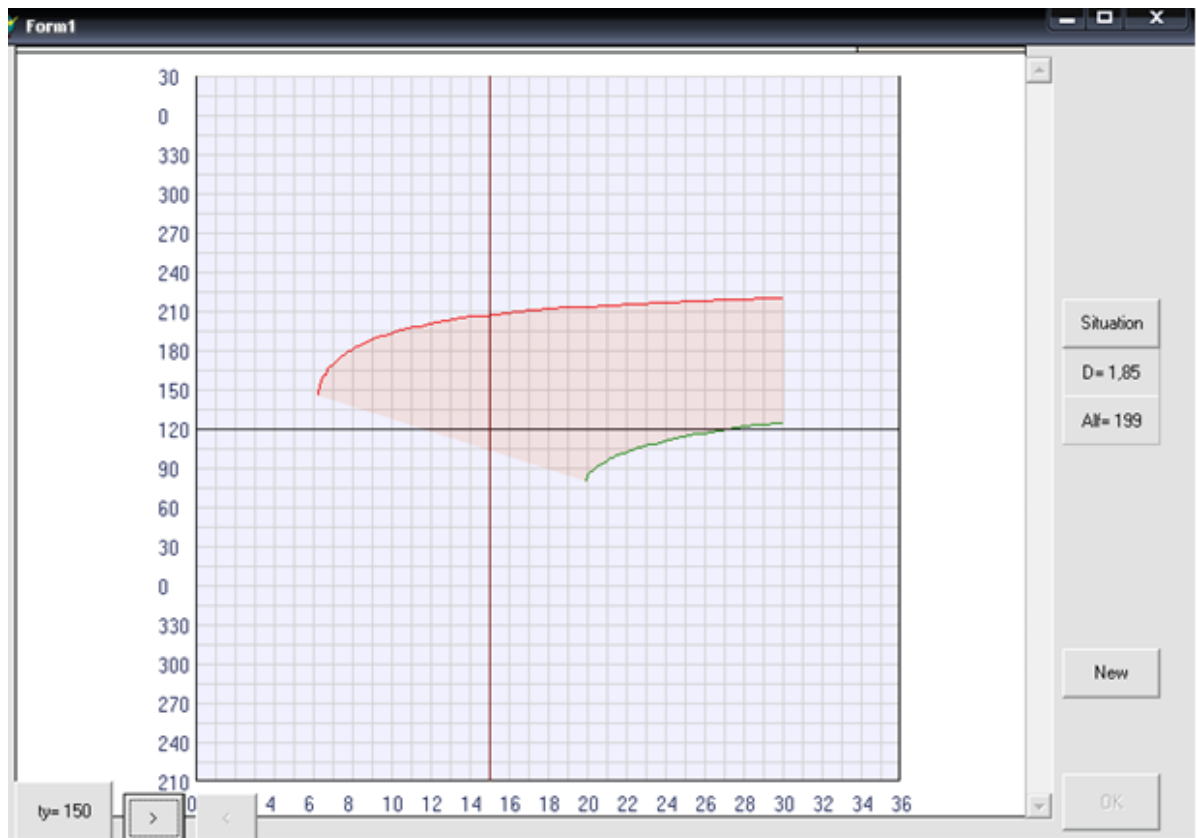


Рис. 5.7. Збільшення часу початку маневру до 150 с

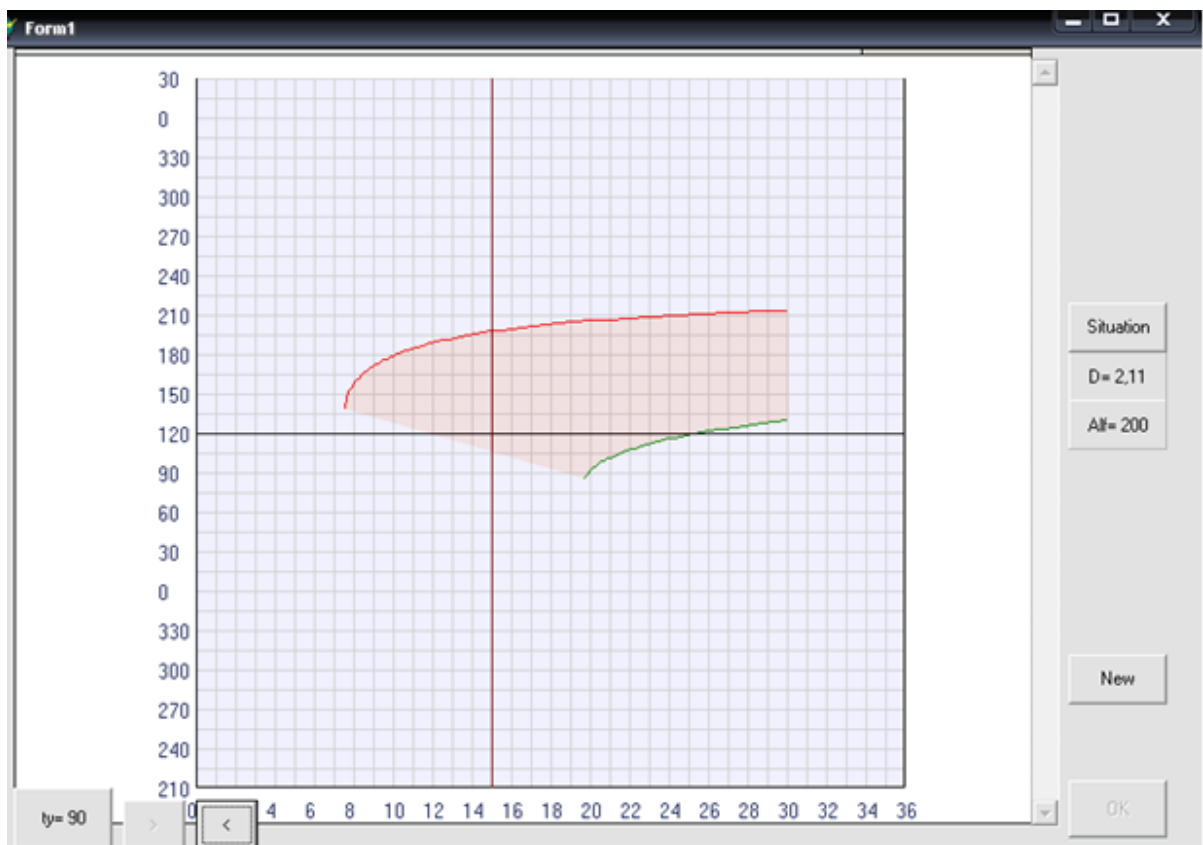


Рис. 5.8. Зменшення часу початку маневру до 90 с

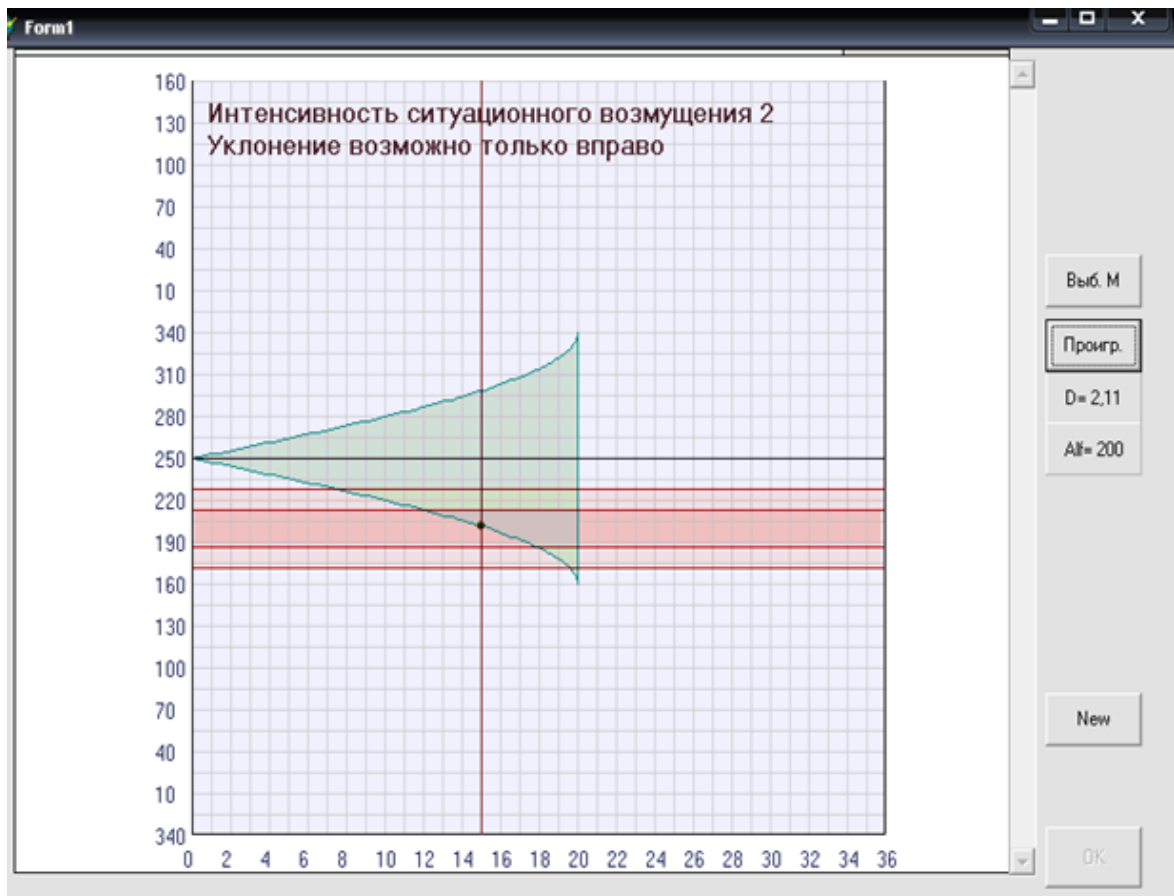


Рис. 5.9. Анализ возможности разхождения судна

Для выбора маневру разхождения зміною курсу базового судна необхідно скористатися клавішею "Виб. М", після чого активізується клавіша "Ку" введення курсу ухилення судна для збільшення дистанції найкоротшого зближення до безпечного значення (рис. 5.10). По вертикальній осі розташовані значення відносних курсів, а дві криві щодо лінії початкового відносного курсу є залежностями K_{otmin} і K_{otmax} від швидкості судна. Тому вертикальне переміщення лінії поточного відносного курсу при введенні курсу ухилення судна відбувається тільки в межах вказаних кривих. Після "кликання" клавіші "Ку" активізується лінійка прокрутки, за допомогою якої вводиться значення курсу ухилення, при цьому значення курсу, що вводиться, відображається на клавіші "Ку". Також відбувається переміщення горизонтальної лінії відносного курсу, а на інформаційних панелях виводяться значення відносного курсу і D_{min} (рис. 5.11).

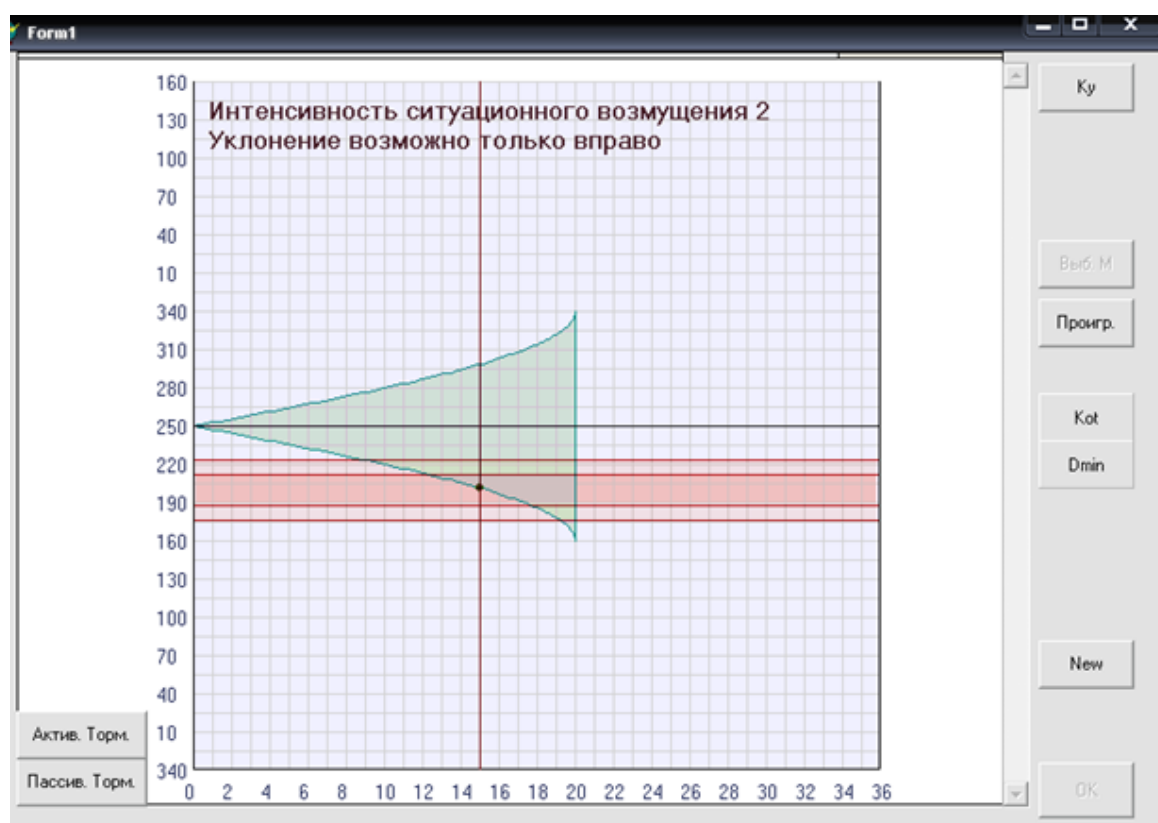


Рис. 5.10. Вибір маневру розходження судна

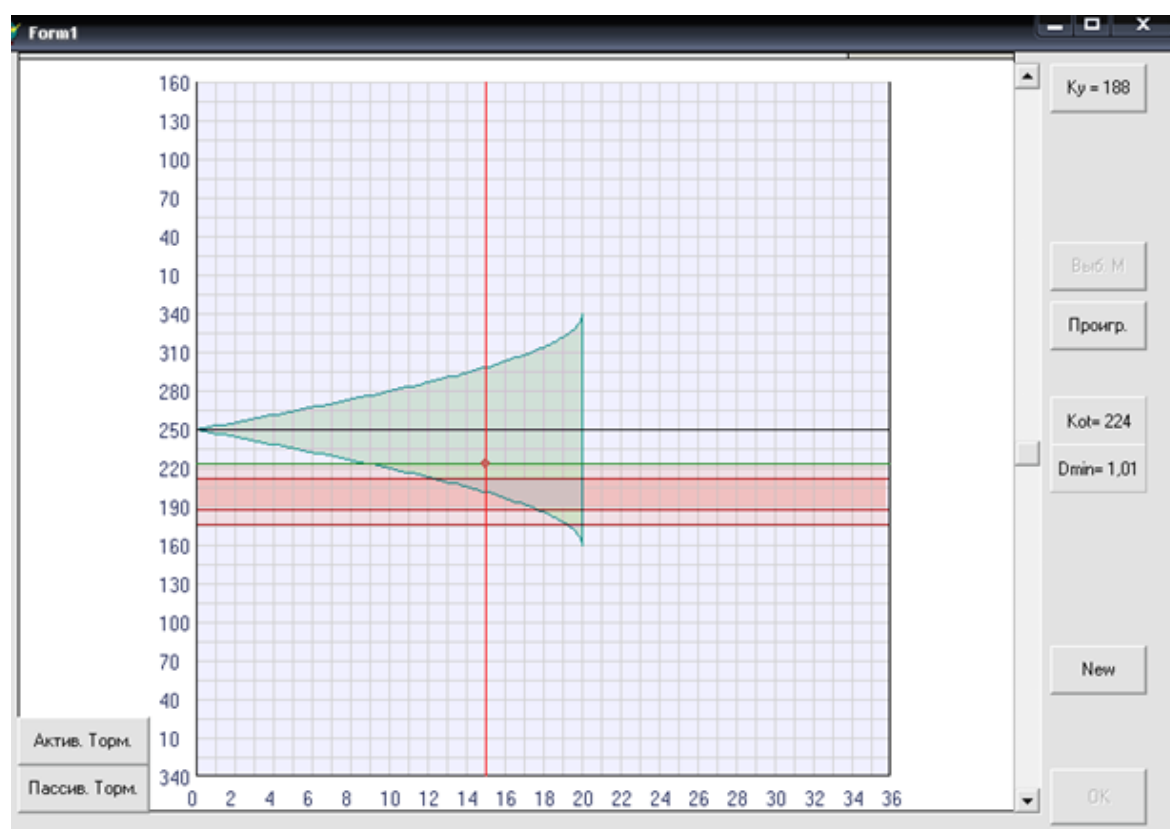


Рис. 5.11. Введення курсу ухилення судна

На вказаному рисунку за допомогою лінійки прокрутки введений курс судна 188° , якому відповідає відносний курс 224° , співпадаючий з граничним значенням безпечного курсу ухилення. В цьому випадку $D_{\min} = 1,01$ милі. Отже, для вибору оптимального курсу ухилення слід введенням його значення добитися рівності $D_{\min}$ гранично-допустимій дистанції.

Якщо виконання маневру розходження зміною курсу утруднене, то за допомогою клавіш "Актив. Торм." і "Пасив. Торм." можна вибрати маневр розходження зниженням швидкості судна гальмуванням. Для вибору маневру розходження судна з ціллю активним гальмуванням необхідно "кликнути" клавішу "Актив. Торм." При цьому виводиться небезпечна область Θ_{dV} і з'являється клавіша "Vy" (рис. 5.12). На рис. 5.13 показано, що при незмінному курсі судна 120° і введеної швидкості 8,4 вузли крапка з такими координатами належить межі області Θ_{dV} , а значення $D_{\min} = 1,1$ м. м.

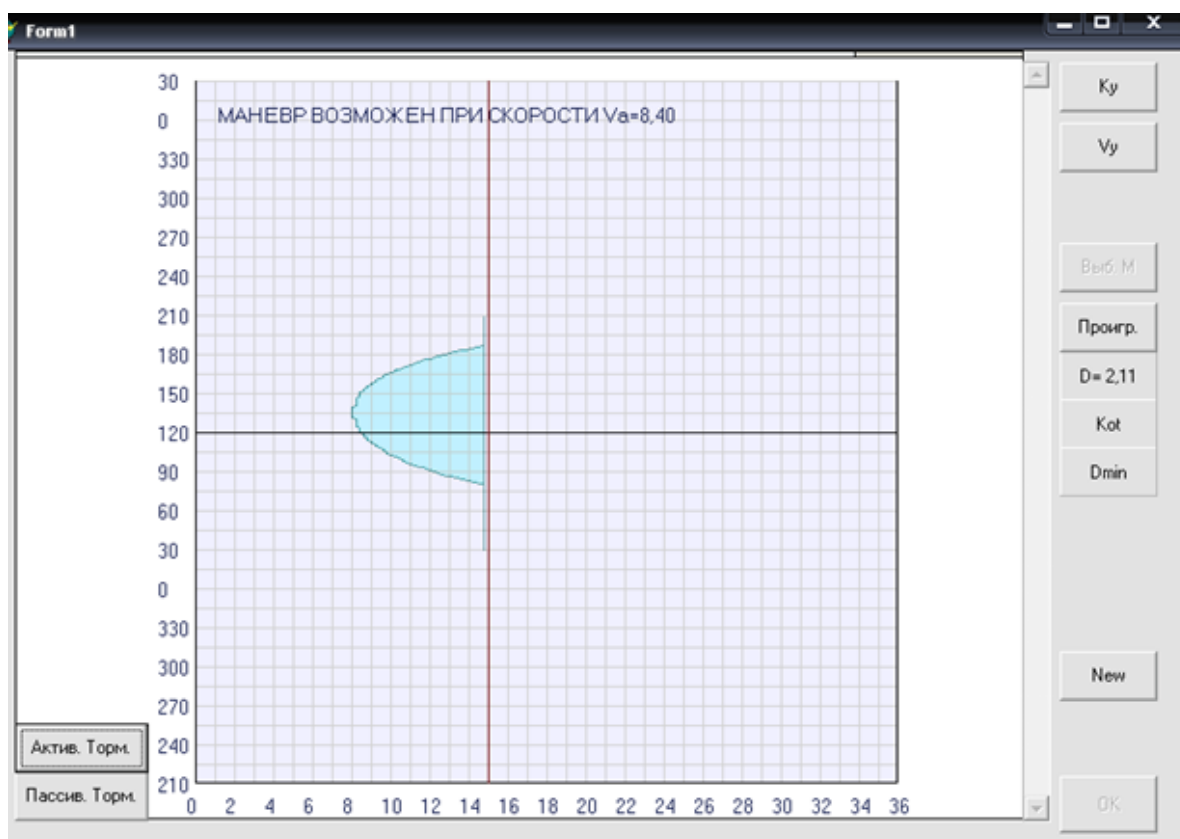


Рис. 5.12. Вибір маневру розходження активним гальмуванням

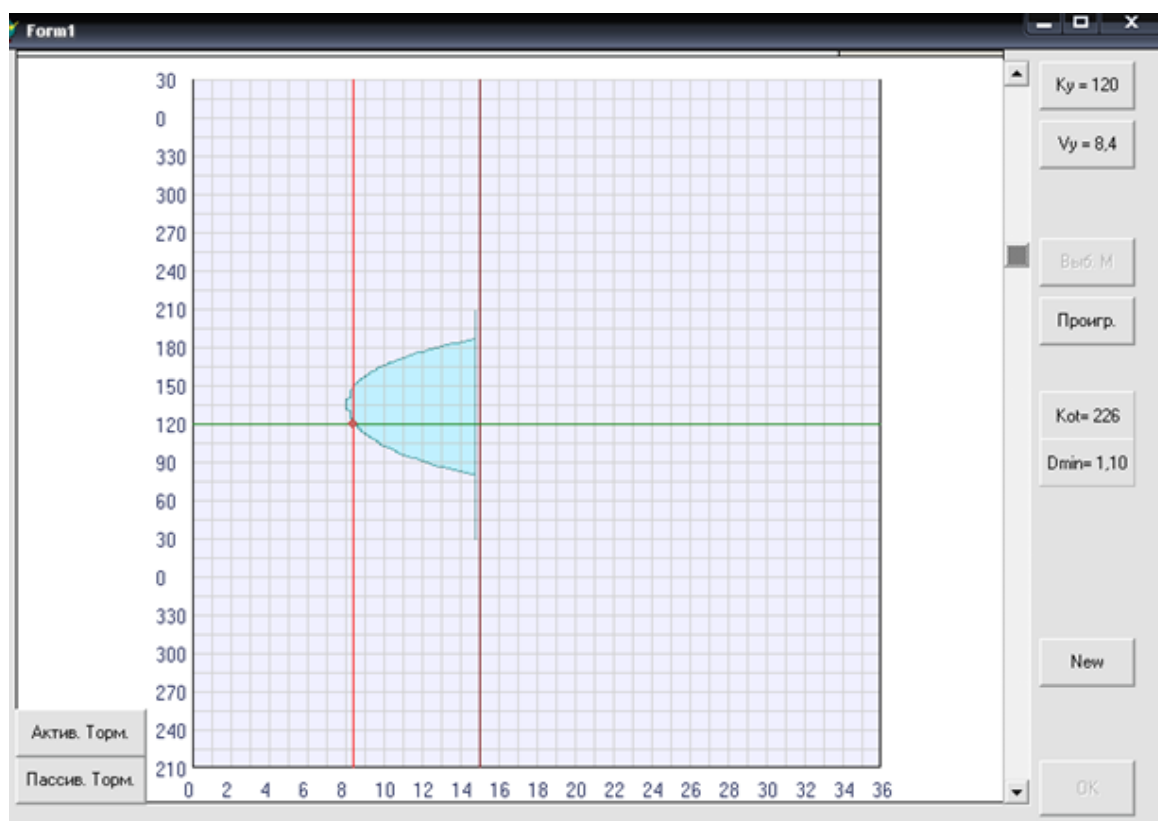


Рис. 5.13. Визначення швидкості розходження при постійному курсі

Якщо виникає необхідність змінити початковий курс і виконати розходження активним гальмуванням, то за допомогою клавіші "Ky" і лінійки прокрутки вводиться значення необхідного курсу, причому горизонтальна лінія курсу ухилення зміщується, і в точці її перетину з межею області Θ_{dV} визначаємо значення швидкості ухилення, скориставшись клавішею "Vy" і лінійкою прокрутки. Так, на рис. 5.14 початковий курс змінено на курс ухилення рівний 104° . За допомогою клавіші "Vy" і лінійки прокрутки встановлюємо вертикальну лінію курсу ухилення в точку перетину лінії курсу ухилення з межею області Θ_{dV} і визначаємо швидкості розходження, яка рівна 10,1 вуз-ли, при цьому $D_{\min} = 1,02$ м. м.

При виборі маневру розходження пасивним гальмуванням необхідно «кликнути» клавішу "Пасив. Торм.", після чого, як видно з рис. 5.15, виводиться небезпечна область Θ_{dV} пасивного гальмування, а також повідомлення про можливість розходження судна пасивним гальмуванням.

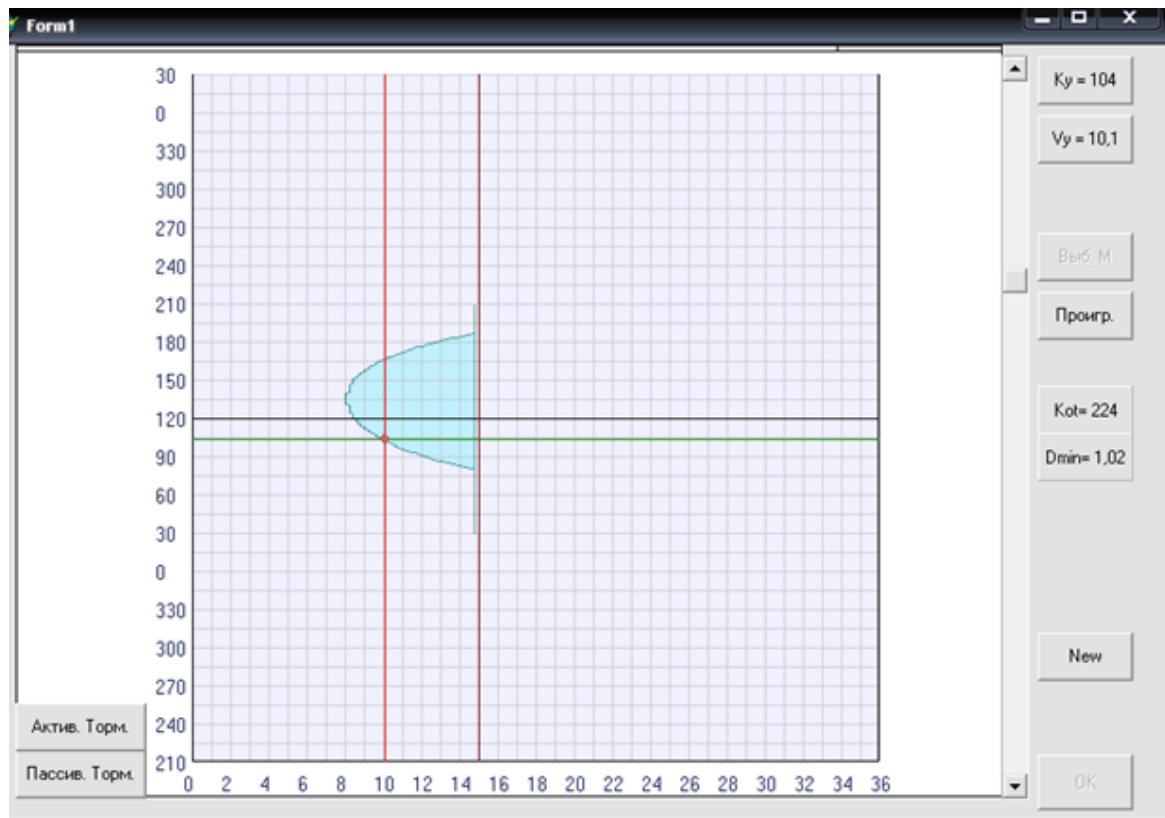


Рис. 5.14. Визначення швидкості розходження при заданому курсі 104°

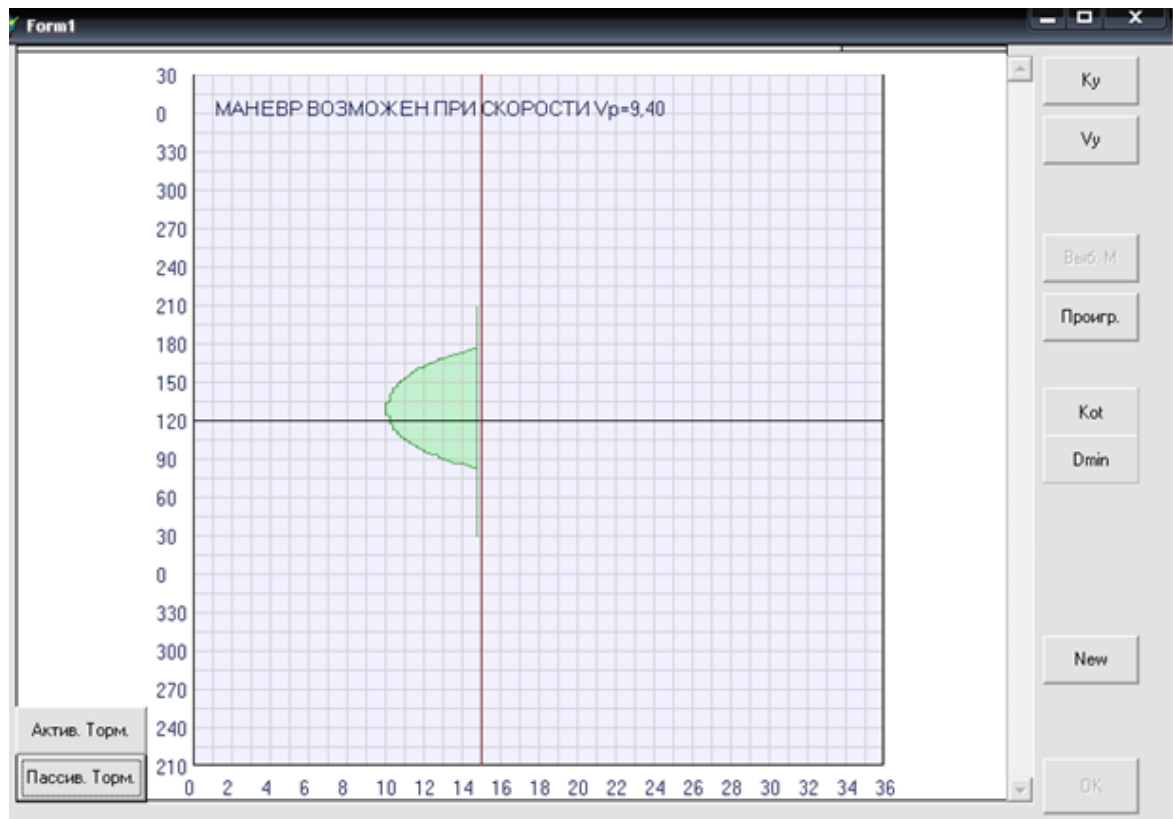


Рис. 5.15. Вибір маневру розходження пасивним гальмуванням

У разі потреби проводити маневр розходження пасивним гальмуванням на курсі відмінному від початкового слід скористатися небезпечною областю Θ_{dV} . Припустимо, за допомогою клавіші "Ку" і лінійки прокрутки курс ухилення збільшений до 160° , що показано на рис. 5.16. При цьому змінилося положення лінії курсу ухилення, а для визначення відповідної швидкості розходження необхідно, після використання клавіші "Vy", лінійкою прокрутки змінити положення вертикальної лінії, відповідної швидкості розходження, до її поєднання з межею області Θ_{dV} . При цьому лінія швидкості повинна проходити через точку перетину лінії курсу ухилення з межею області Θ_{dV} . Як випливає з рис. 5.16, швидкість розходження дорівнює 11,7 вузли, при цьому $D_{\min} = 1,00$ м. м.

У свою чергу, на рис. 5.17 показана ситуація зміни курсу до 91° .

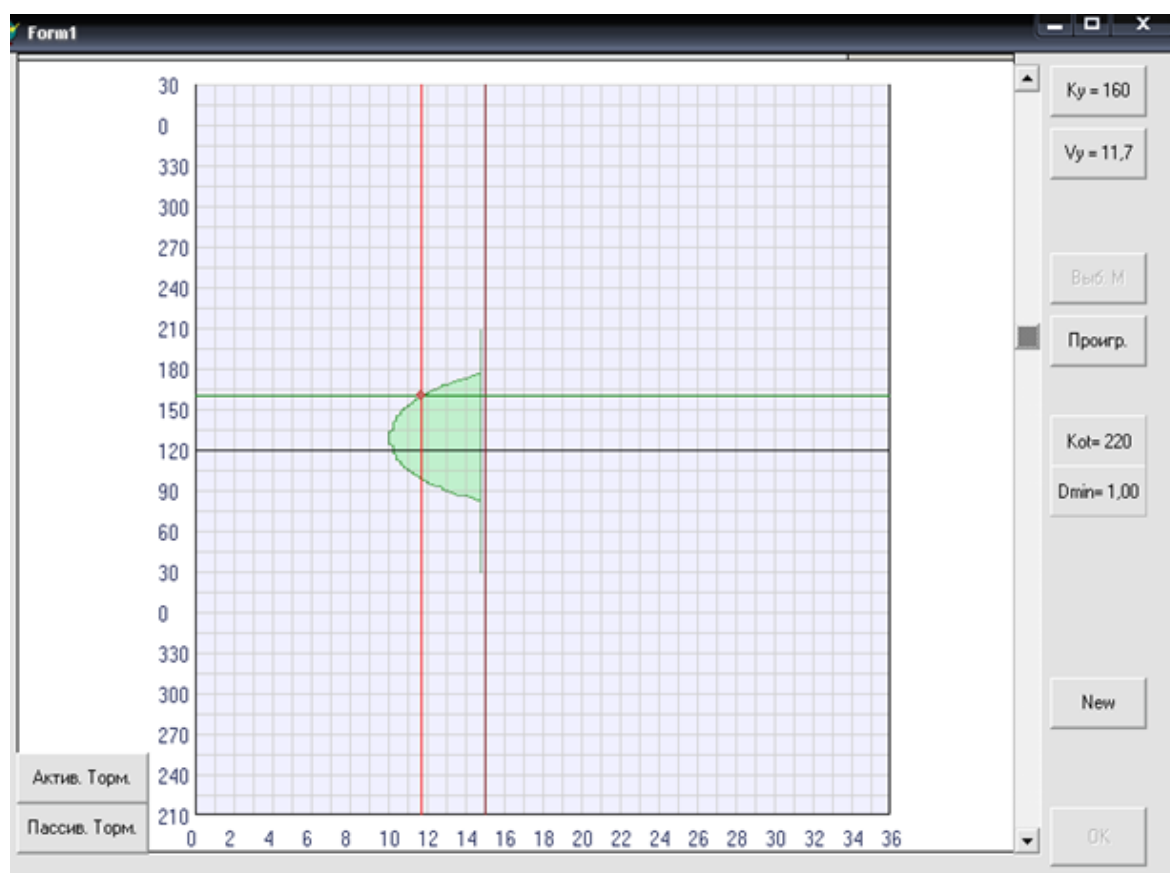


Рис. 5.16. Швидкість розходження при збільшенні курсу до 160°

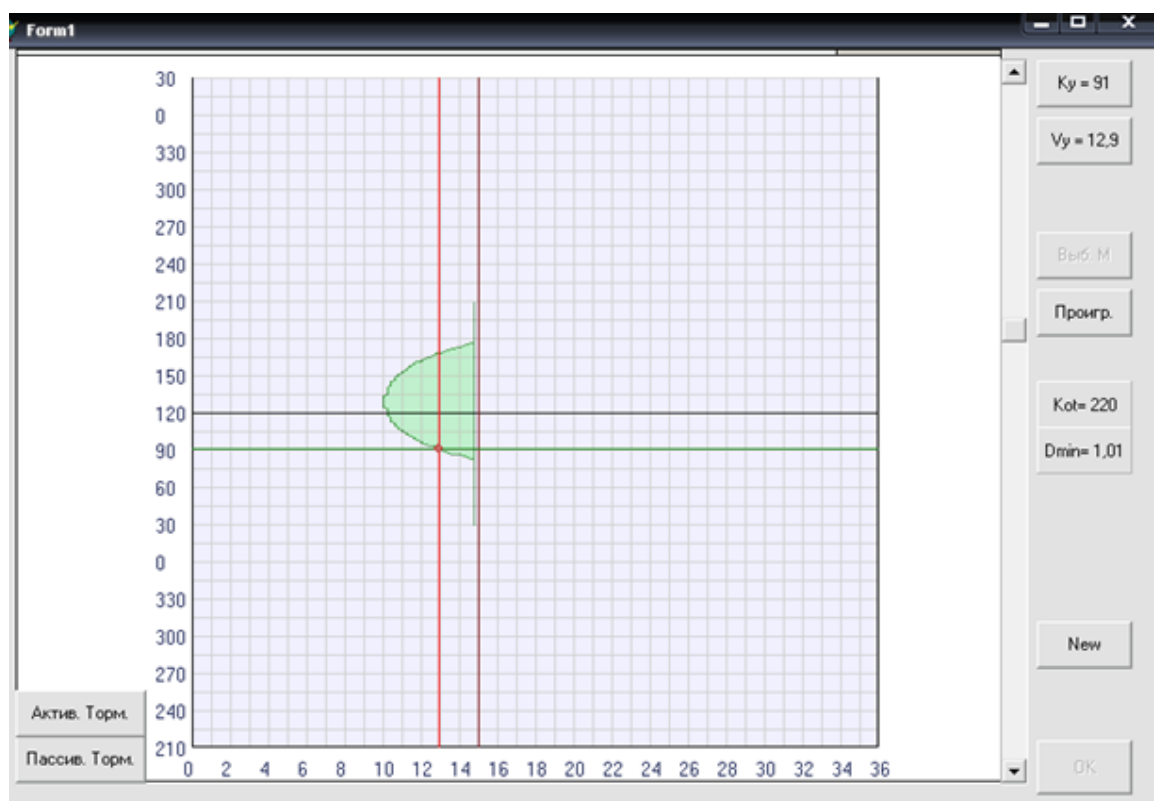


Рис. 5.17. Швидкість розходження при зменшенні курсу до 91°

В цьому випадку швидкість розходження складе 12,9 вузли, а $D_{\min} = 1,01$ м.м. За допомогою клавіші "New" можливе введення нової ситуації небезпечного зближення судна з ціллю.

Якщо значення інтенсивності ситуативного збурення на відміну від прикладу, що наводиться, приймає значення рівне 1, то процедура вибору оптимального курсу ухилення має деякі особливості. Для їх розгляду приведемо наступну ситуацію небезпечного зближення з параметрами: пеленг $\alpha_{12} = 254^\circ$, дистанція $D_{12} = 3$ милі, параметрами руху суден $K_1 = 275^\circ$, $K_2 = 57^\circ$, $V_1 = 23$ вузлів, $V_2 = 17$ вузлів. Дистанція найкоротшого зближення 0,25 милі (рис.5.18). При аналізі ситуації небезпечного зближення було встановлено, що інтенсивність ситуативного збурення рівна 1, що виходить з рис. 5.19. В цьому випадку є можливість судну для розходження ухилятися в обидві сторони.

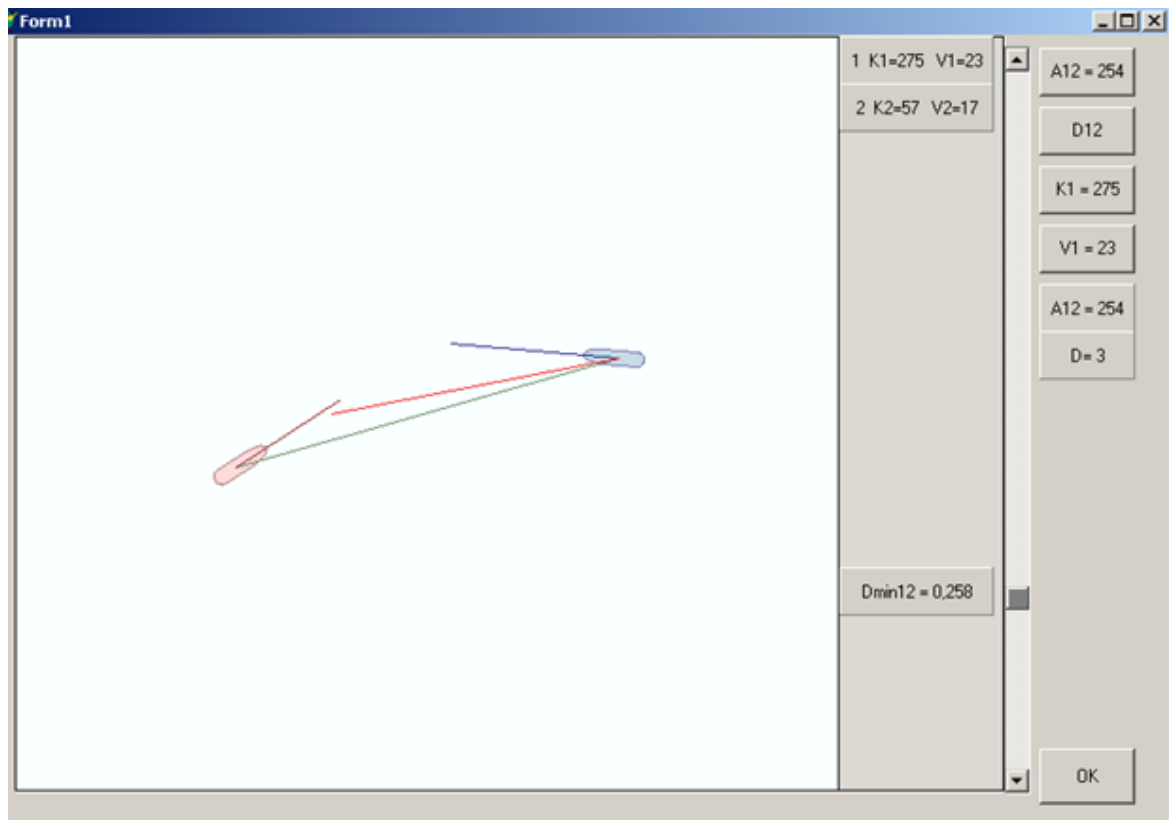


Рис. 5.18. Початкова ситуація зближення при $V_1 > V_2$

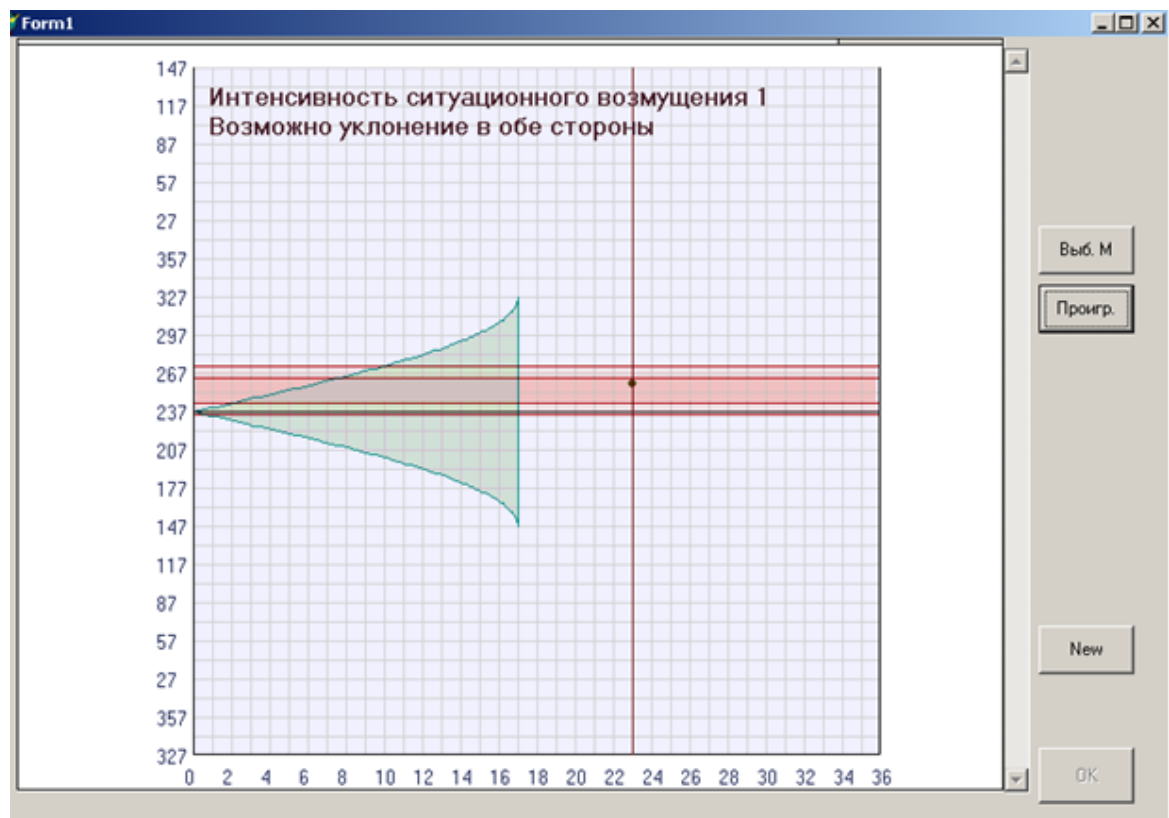


Рис. 5.19. Визначення інтенсивності ситуативного збурення

Для вибору маневру розходження зміною курсу виводиться область неприпустимих параметрів Ω_d , яка показана на рис. 5.20. Крапка з параметрами руху судна ($K_1=275^\circ$, $V_1=23$ вузлів) належить області Ω_d , що свідчить про необхідність вибору маневру розходження судна, як збільшенням, так і зменшенням курсу. За допомогою клавіші "Ку" і лінійки прокрутки проводимо збільшення курсу судна, внаслідок чого горизонтальна лінія курсу ухилення зміщувалася убік верхньої межі області Ω_d . Збільшення курсу ухилення проводилося до тих пір, поки його лінія не досягла верхньої межі області Ω_d в точці перетину з вертикальною лінією швидкості, як показано на рис. 5.21. При цьому значення курсу ухилення склало 300° , а дистанція найкоротшого зближення виявилася рівною 1,01 милі. Аналогічно на рис. 5.22 показаний вибір маневру розходження зменшенням курсу до 233° , при якому $D_{\min} = 0,99$ м. м.

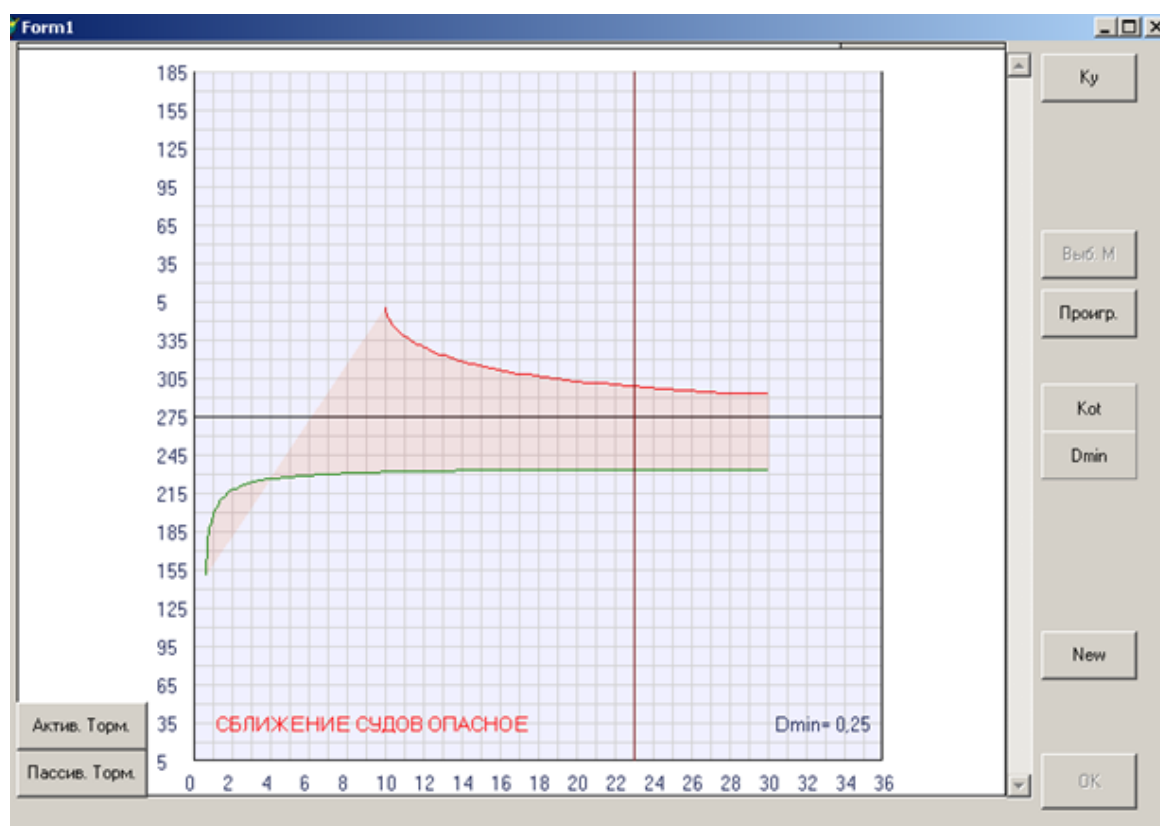


Рис. 5.20. Визначення інтенсивності ситуативного збурення

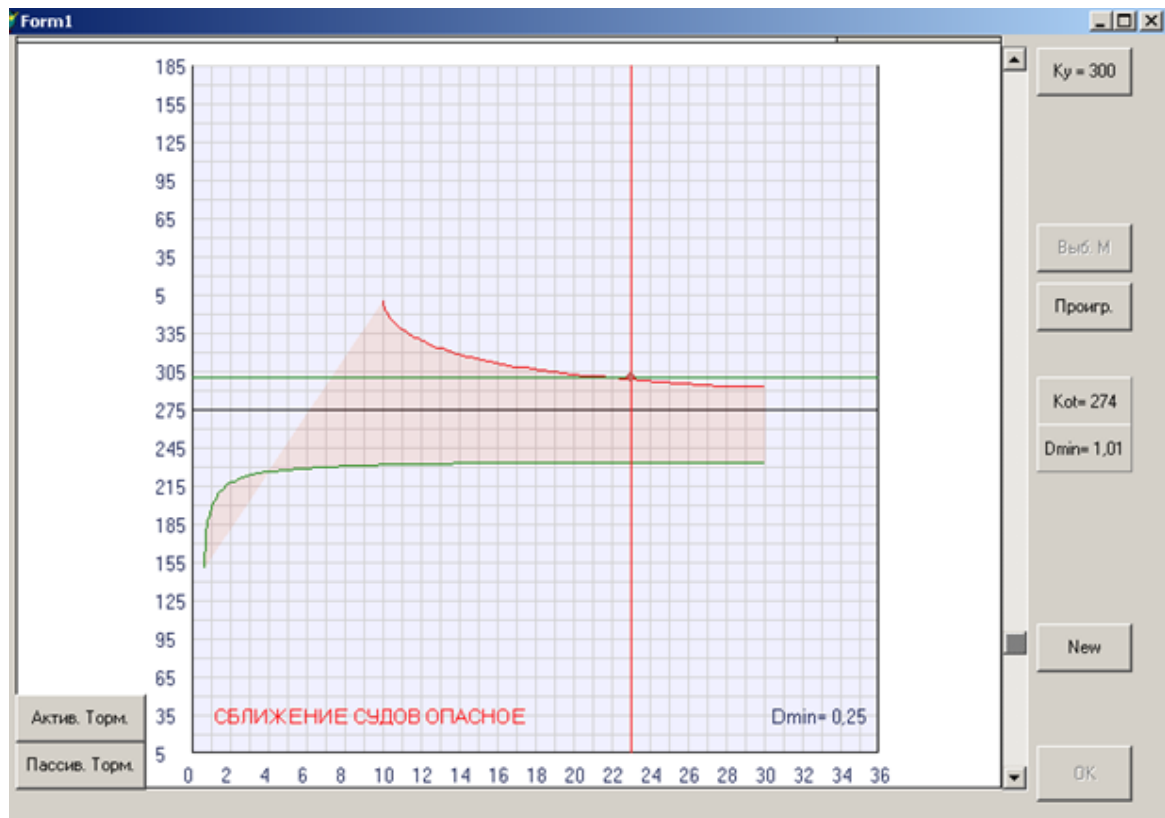


Рис. 5.21. Вибір маневру розходження збільшенням курсу

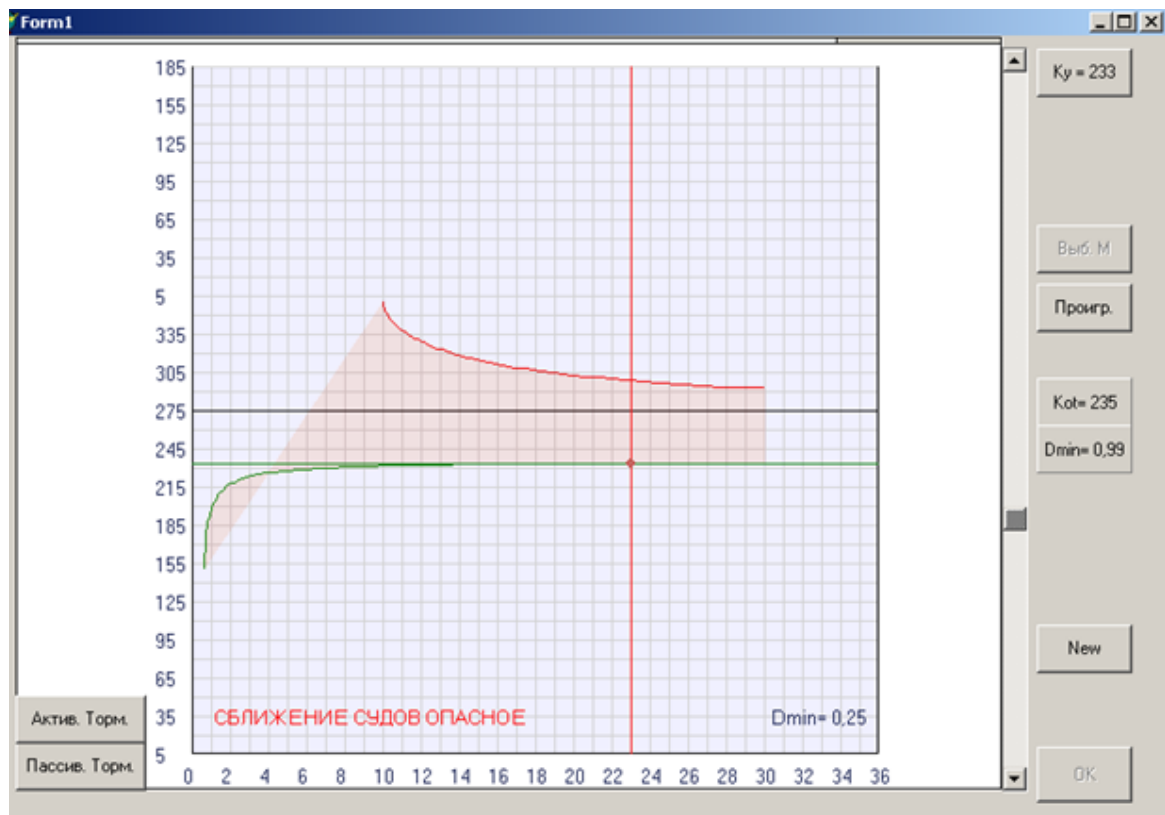


Рис. 5.22. Вибір маневру розходження зменшенням курсу

Таким чином, в підрозділі розглянуто способи вибору маневрів розходження судна з ціллю зміною курсу при незмінній швидкості, а також зміною швидкості при незмінному курсі.

5.2. Використання імітаційного моделювання для перевірки коректності одержаних результатів дисертаційного дослідження.

У імітаційній програмі є модуль, за допомогою якого здійснюється програвання вибраного маневру розходження і робиться висновок про коректність запропонованого способу визначення маневру розходження, причому для обертального руху суден вибрана модель з постійною кутовою швидкістю. Для прикладу розглянемо початкову ситуацію небезпечного зближення (рис. 5.23) з параметрами: пеленгом $\alpha_{12}=235^\circ$, дистанцією $D_{12}=3$

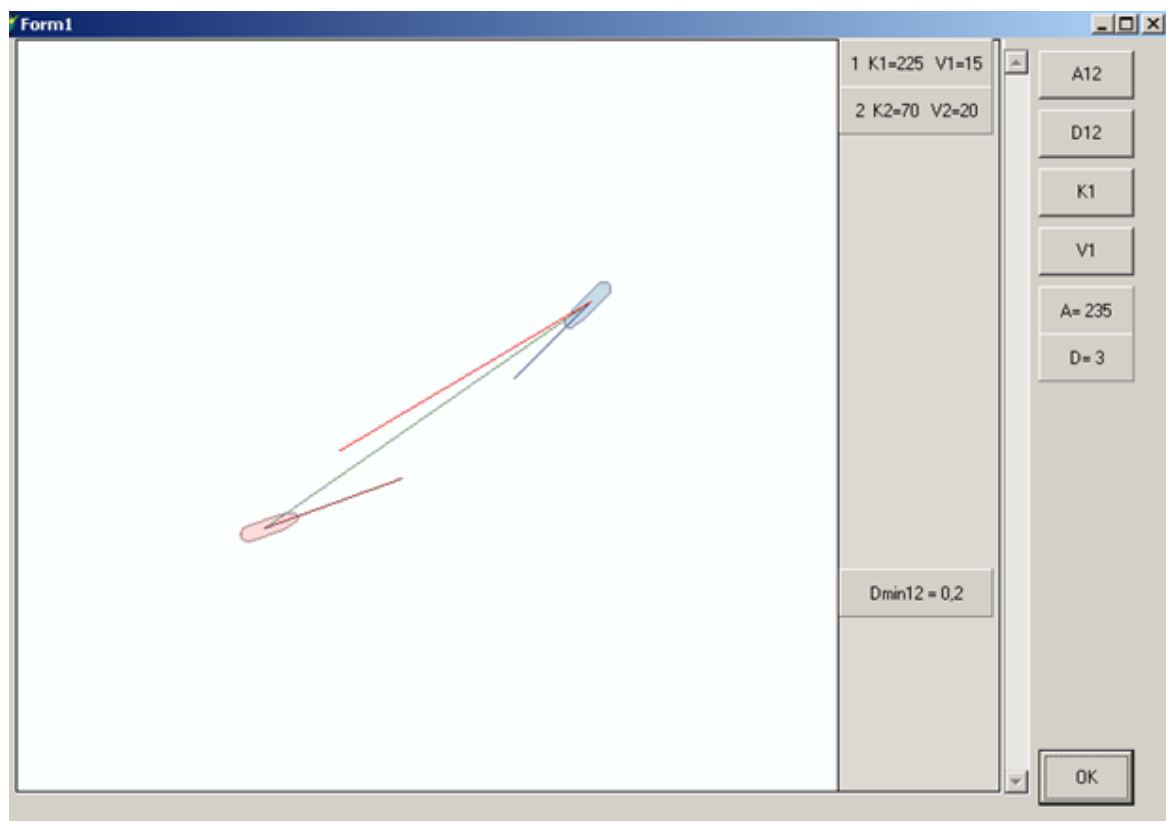


Рис. 5.23. Перша ситуація небезпечного зближення

милі, параметрами руху суден $K_1=225^\circ$, $K_2=70^\circ$, $V_1=15$ вузлів і $V_2=20$ вузлів. Після відображення області Ω_d неприпустимих параметрів руху судна (рис. 5.24) переконуємося, що точка з початковими параметрами руху судна $K_1=225^\circ$ і $V_1=15$ вузлів належить області Ω_d і, отже, необхідно вибрати маневр розходження.

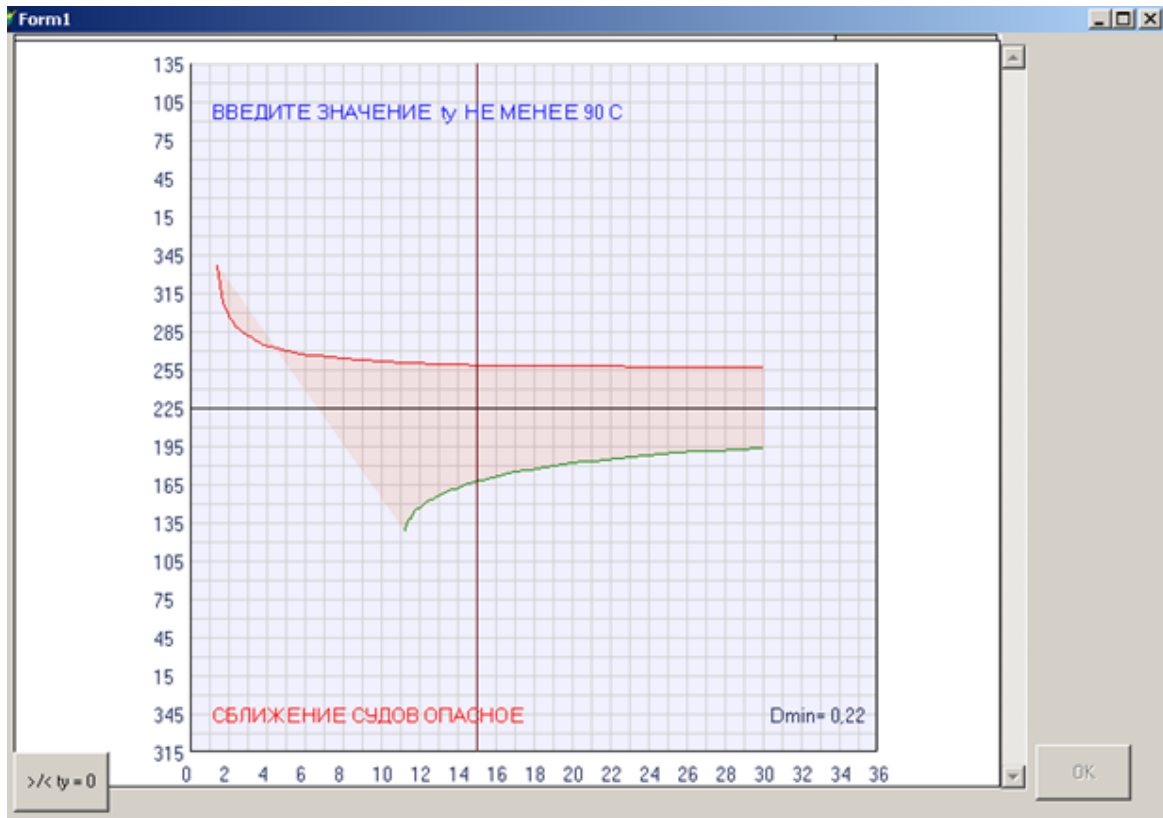


Рис. 5.24. Перша ситуація небезпечного зближення

Після введення часу попередження рівного 120 с, як впливає з рис. 5.25, на інформаційному табло відображається пеленг і дистанція до цілі на цей момент часу ($D=1,86$ м.м., $Alf=232^\circ$), а після використання клавіші "Situation" виводяться результати аналізу інтенсивності ситуативного збурення. На рис. 5.26 показане повідомлення про те, що інтенсивність ситуативного збурення рівна 2, причому для розходження судно може ухилятися тільки управо. Для ухилення за допомогою клавіші "Ку" і лінійки прокрутки вибраний курс 285° (рис. 5.27), і $D_{\min}=1,00$ м. м.

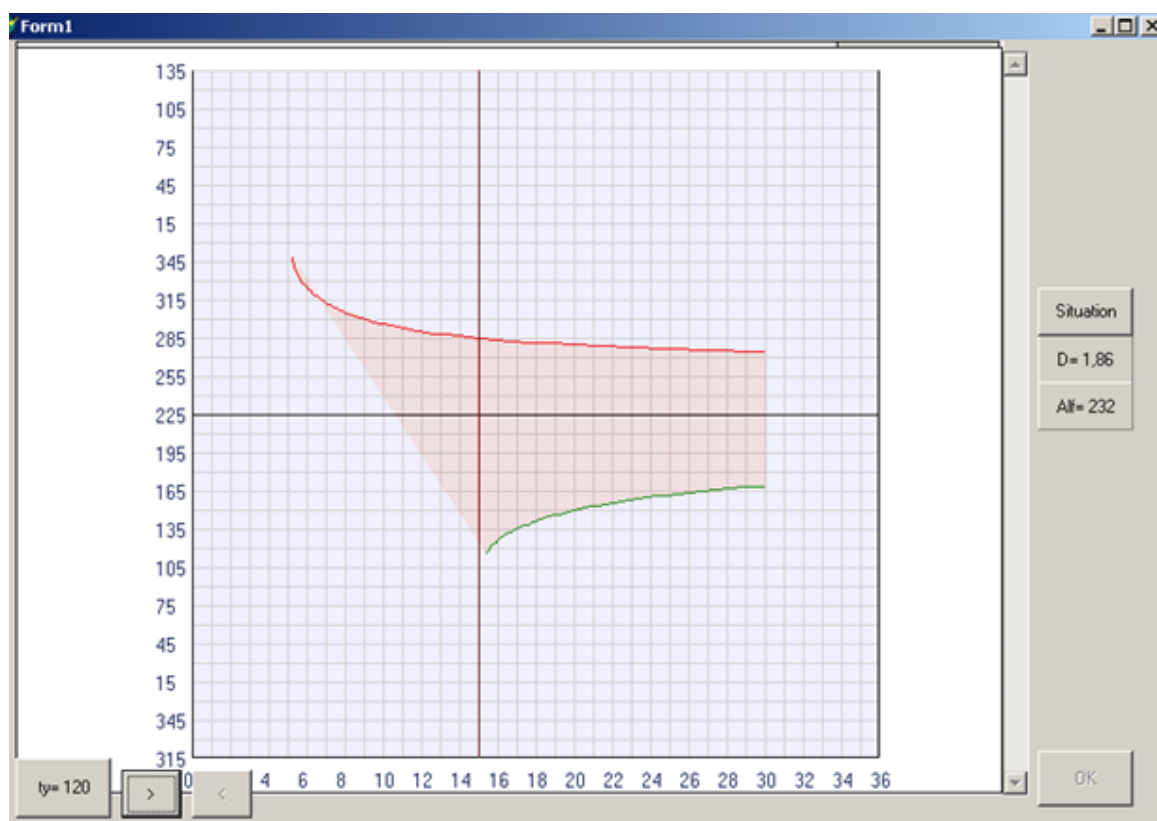


Рис. 5.25. Введення часу попередження

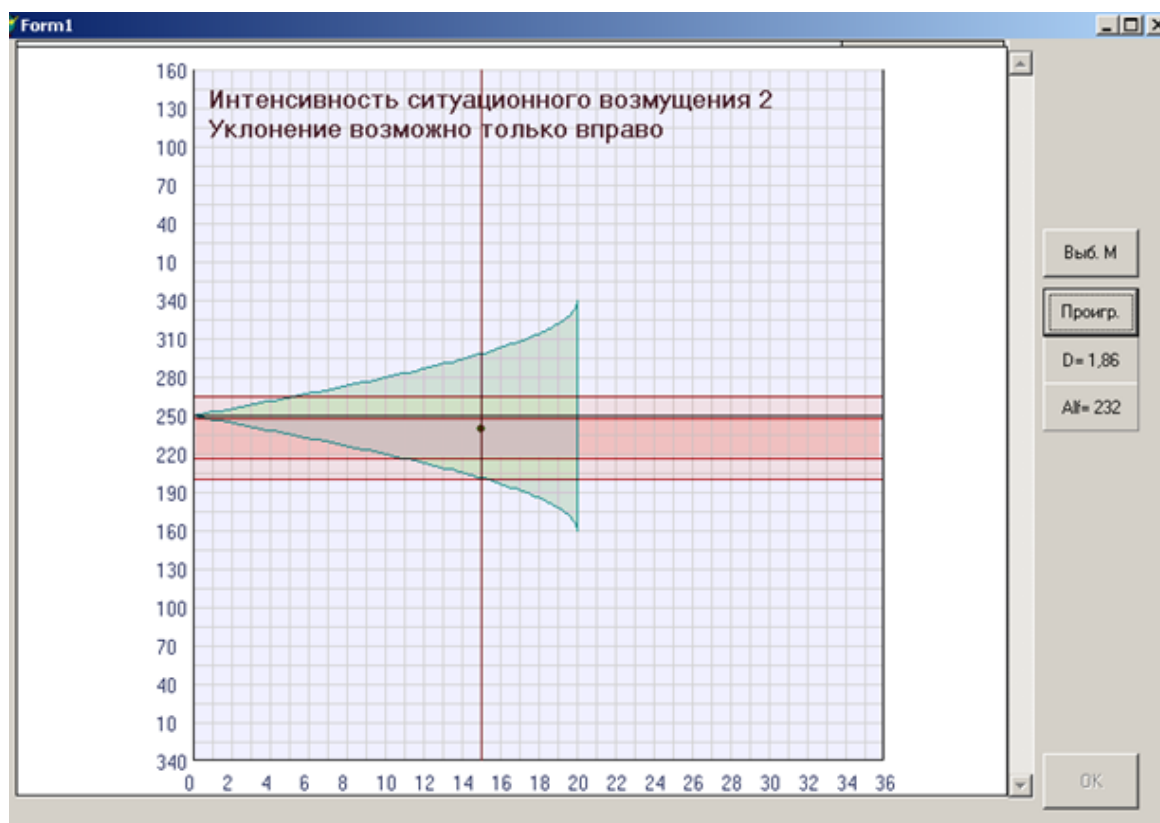


Рис. 5.26. Аналіз інтенсивності ситуативного збурення

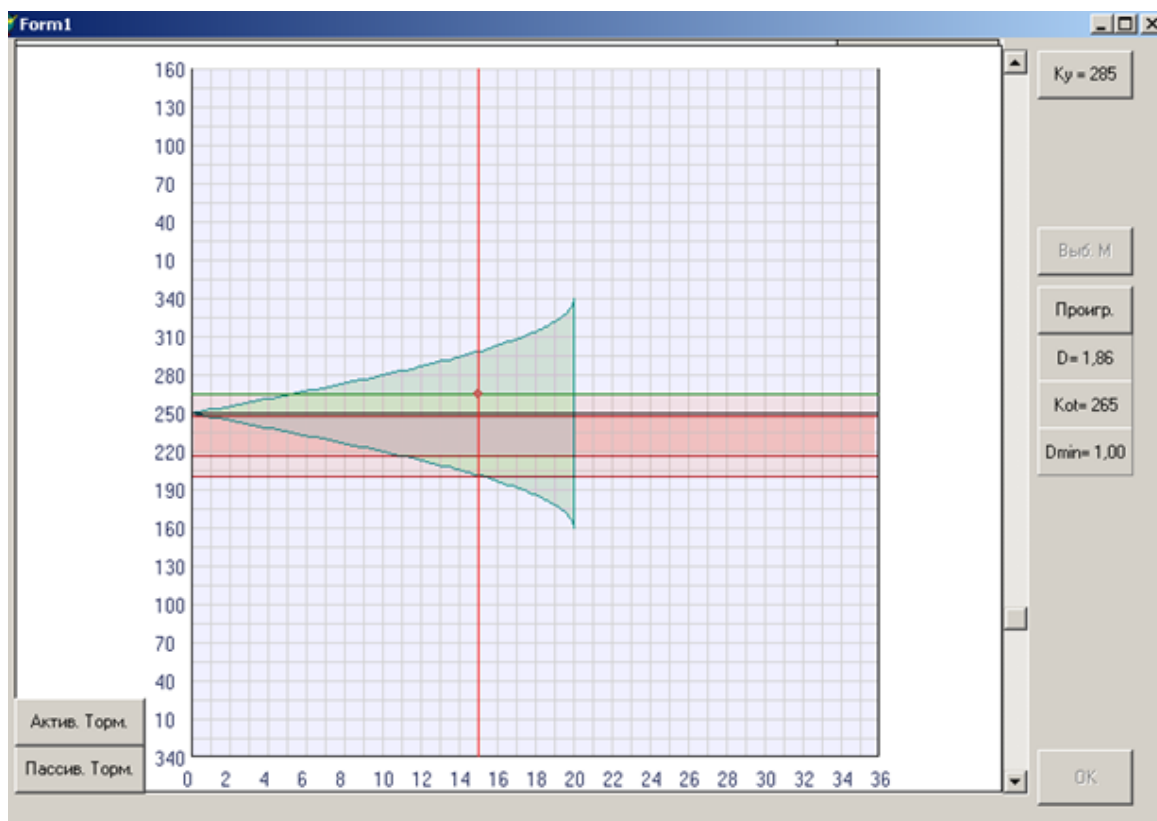


Рис. 5.27. Введення курсу ухилення управо

Для перевірки коректності вибраного маневру розходження зміною курсу за допомогою клавіші "Проигр." здійснювалося програвання маневру. Як показано на рис. 5.28, після "кликання" клавіші "Проигр." на ліве інформаційне табло виводиться інформація про маневр розходження судна, яка включає програмний курс його руху, час попередження, швидкість судна, курс ухилення, час початку ухилення, курс виходу, час початку повороту судна на курс виходу і час початку повороту на програмну траєкторію. Процес програвання маневру стартує після натиснення клавіші "TIMER", після чого судно і ціль починають рух з поточними значеннями курсів і швидкостей (рис. 5.29), а на правій інформаційній панелі виводиться інформація про поточні значення часу, пеленга і дистанції до цілі, а також курсу і швидкості судна. На рис. 5.30 показано початок ухилення судна управо у момент часу 92 с, коли значення курсу судна починає зростати і рівне 228° .

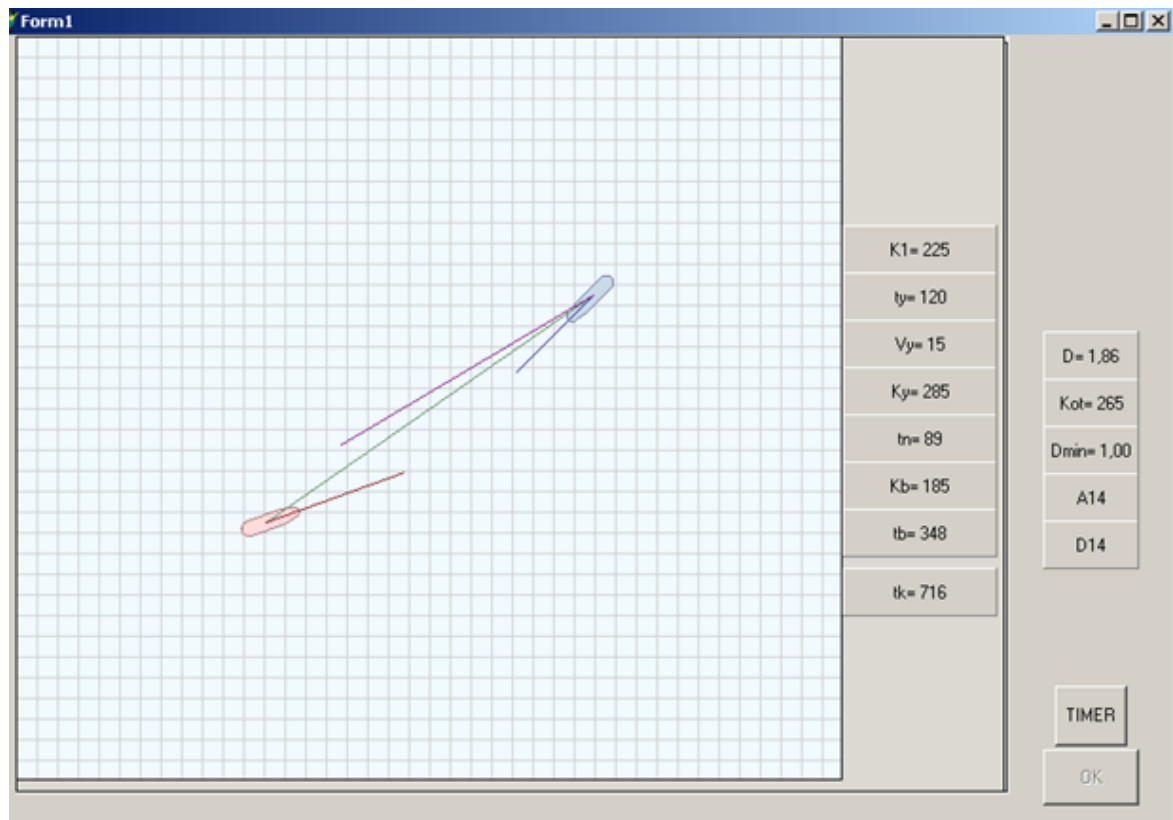


Рис. 5.28. Підготовка програвання маневру розходження

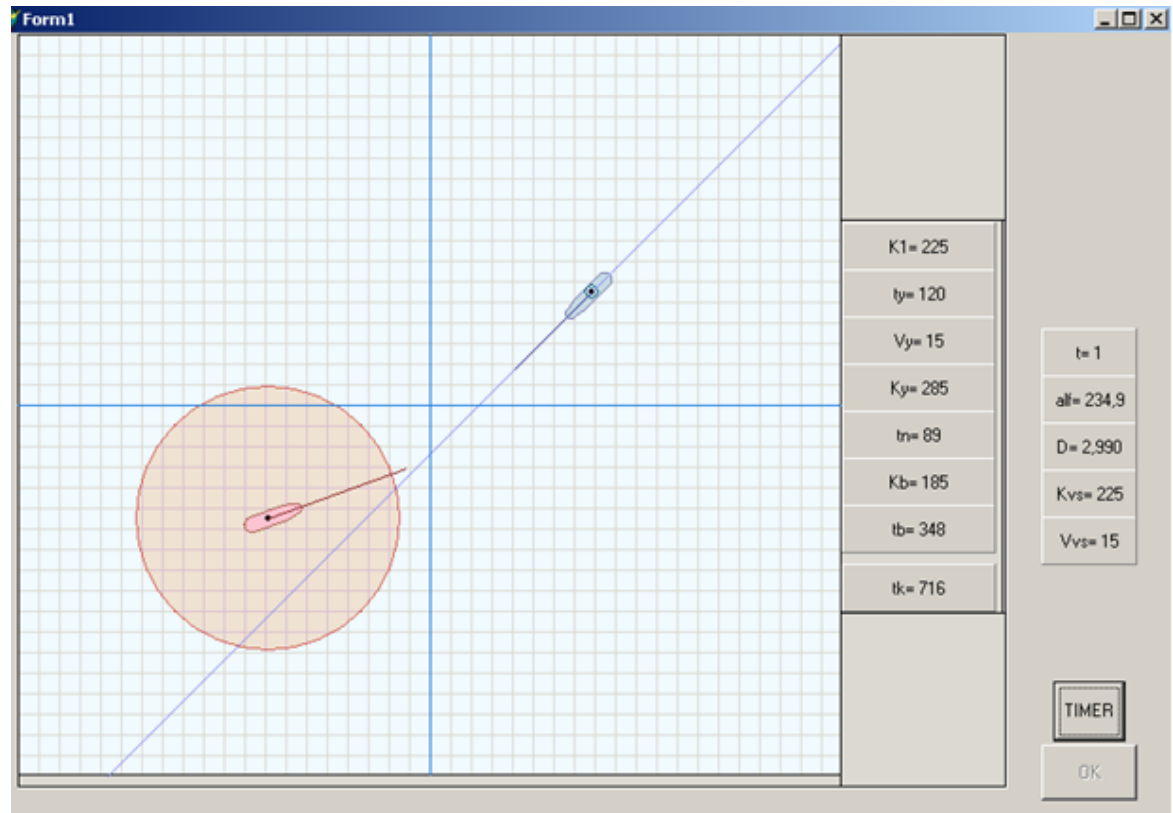


Рис. 5.29. Початок маневру розходження

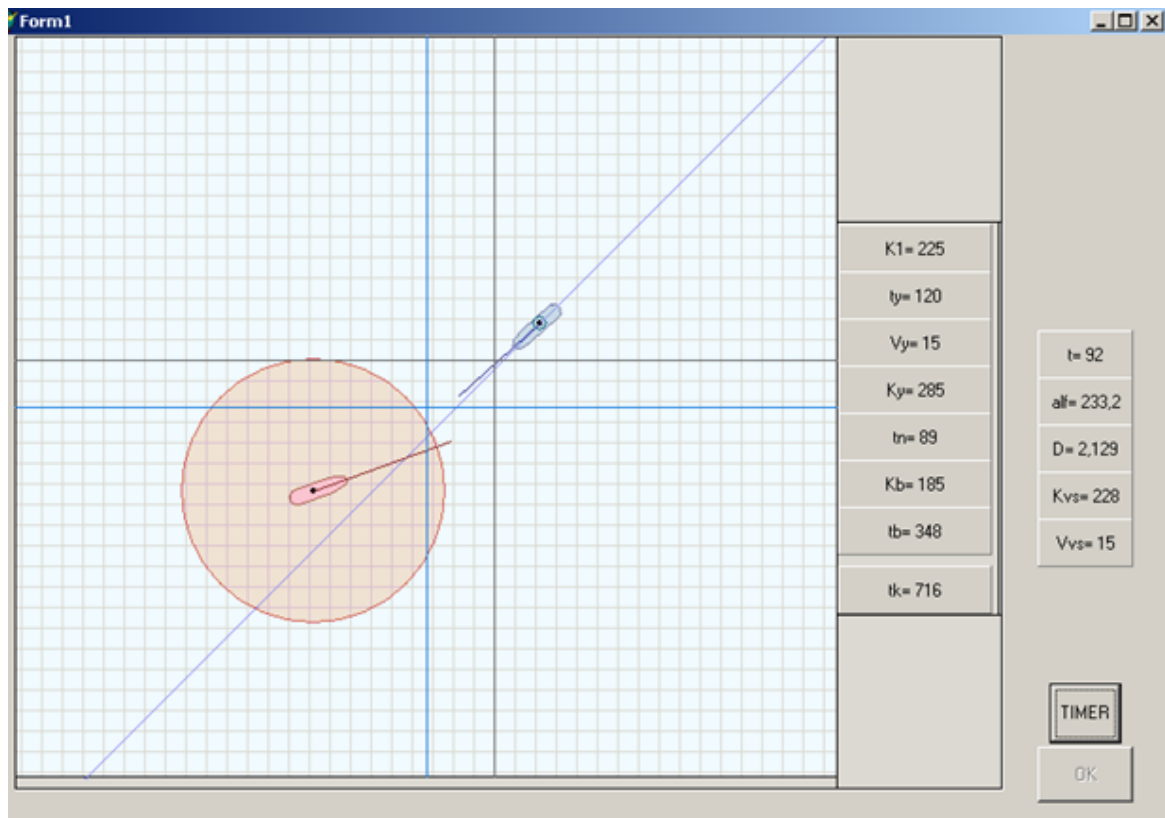


Рис. 5.30. Початок ухилення судна управо

Судно продовжує повертати, поки його курс не стане рівним курсу ухилення 285° , як показано на рис. 5.31. Надалі судно продовжує прямувати курсом ухилення, зближуючись з ціллю. На рис. 5.32 показаний момент найкоротшого зближення судна з ціллю, причому дистанція найкоротшого зближення рівна 1,00 м. м., як планувалося при виборі маневру розходження. Дана обставина підтверджує коректність способу вибору курсу ухилення судна при інтенсивності ситуативного збурення рівного 2. На рис. 5.33 показано, що на 348 с процесу розходження судно починає поворот вліво для досягнення курсу виходу на задану траєкторію. Поворот завершується на 448 с процесу розходження, судно лягає на курс виходу, який рівний 185° , і утримує його у напрямі програмної траєкторії руху, як показано на рис. 5.34. Після досягнення програмної траєкторії на 716 с процесу розходження судно лягає на початковий курс 225° і продовжує програмний рух.

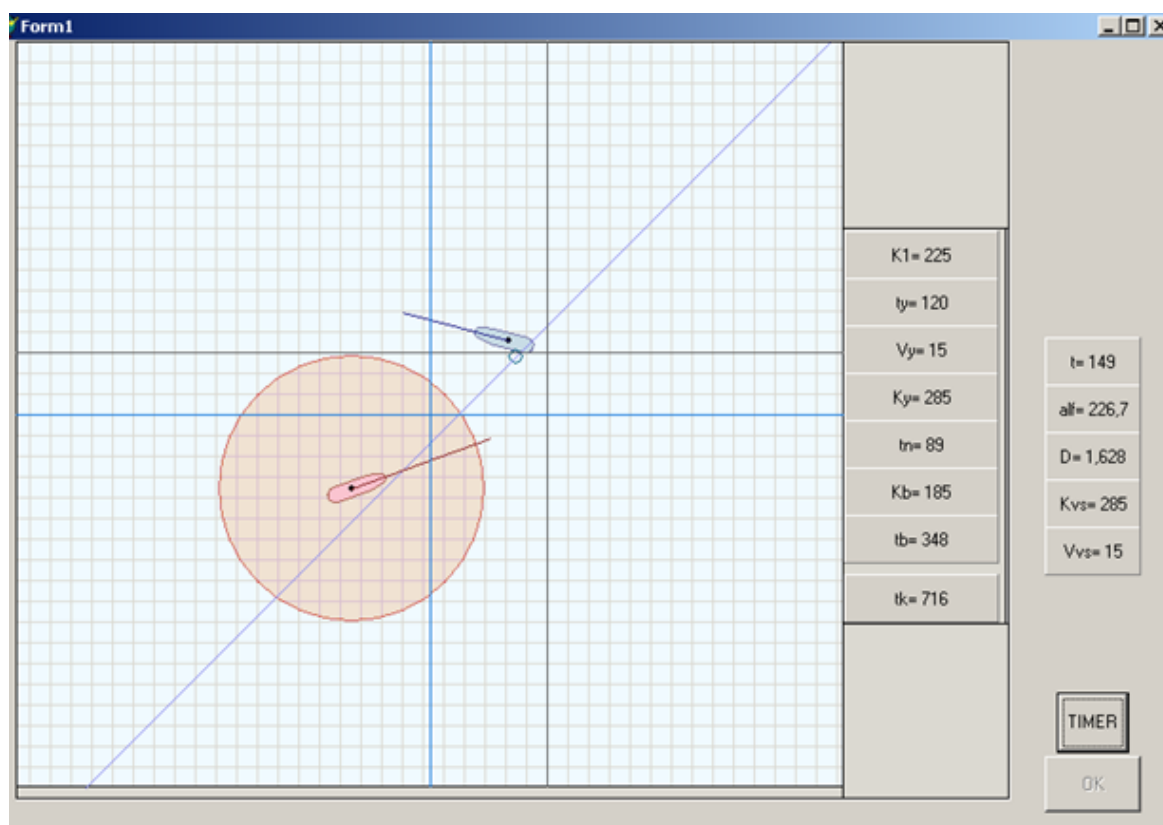


Рис. 5.31. Завершення повороту на курс ухилення судна

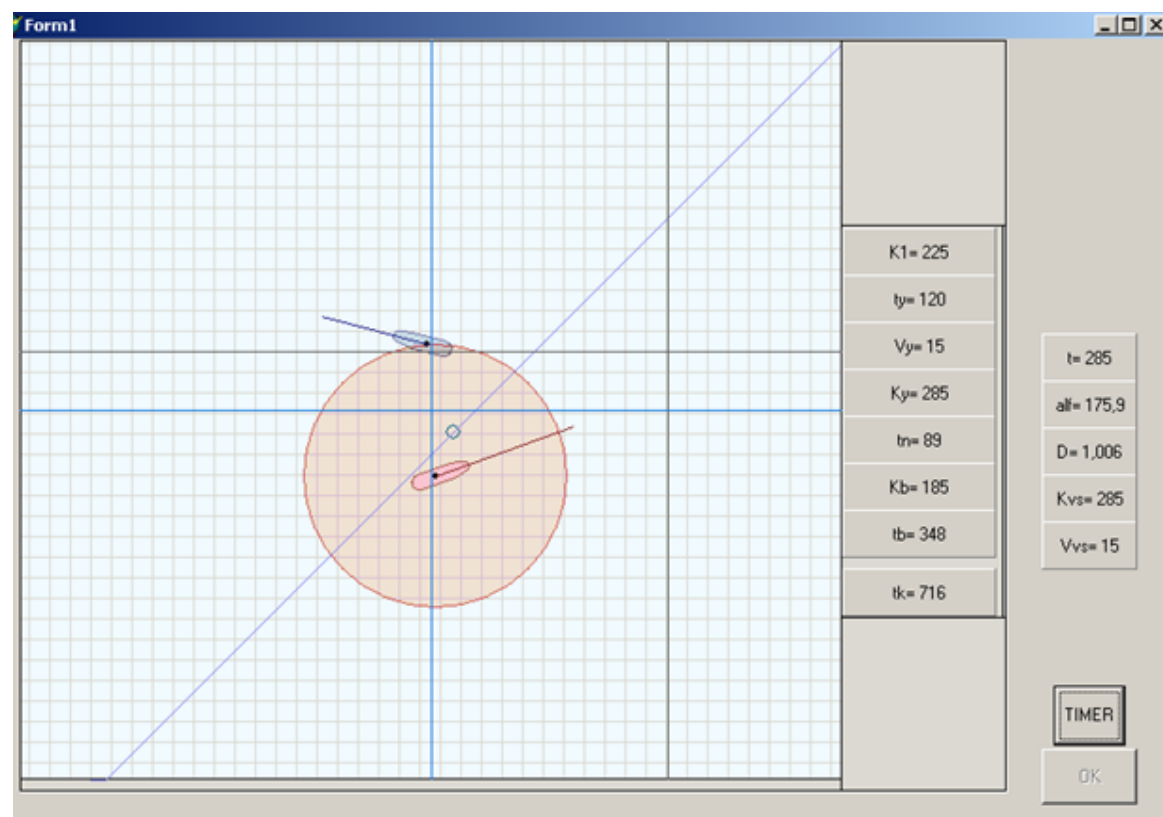


Рис. 5.32. Найкоротше зближення судна з ціллю

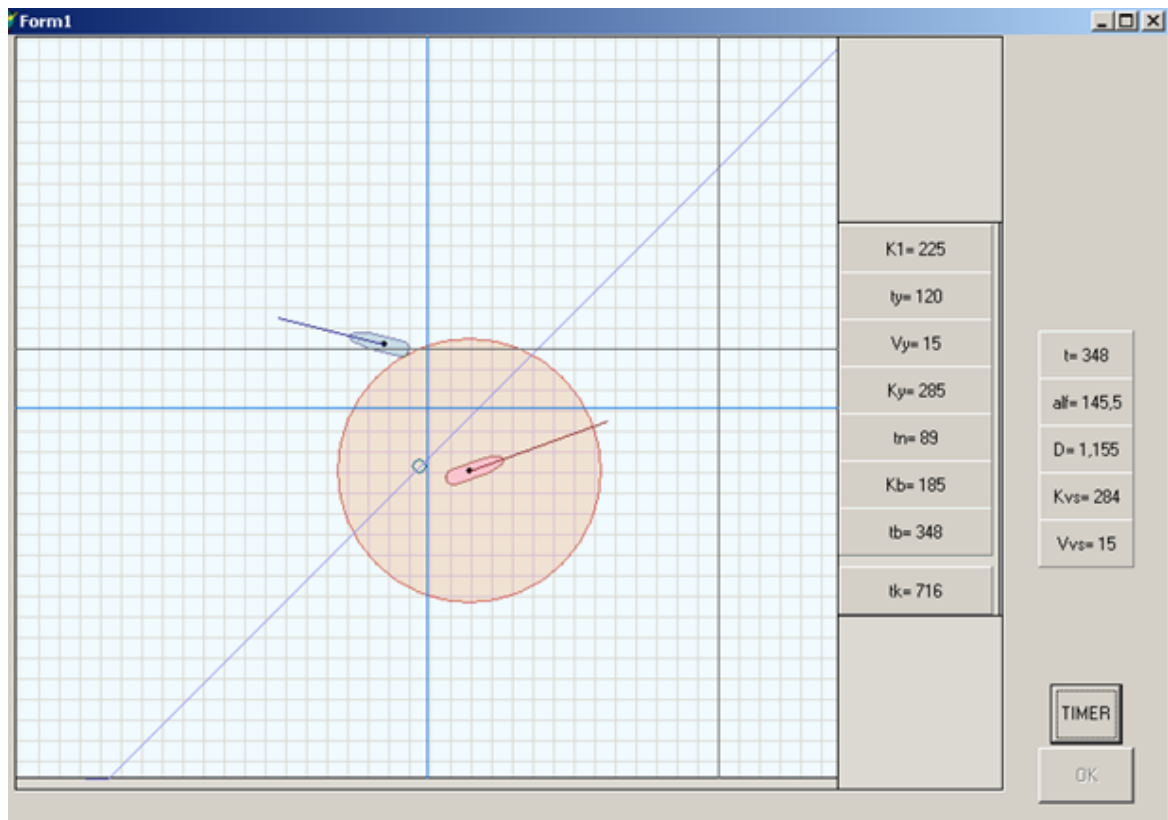


Рис. 5.33. Початок повороту судна до програмної траєкторії

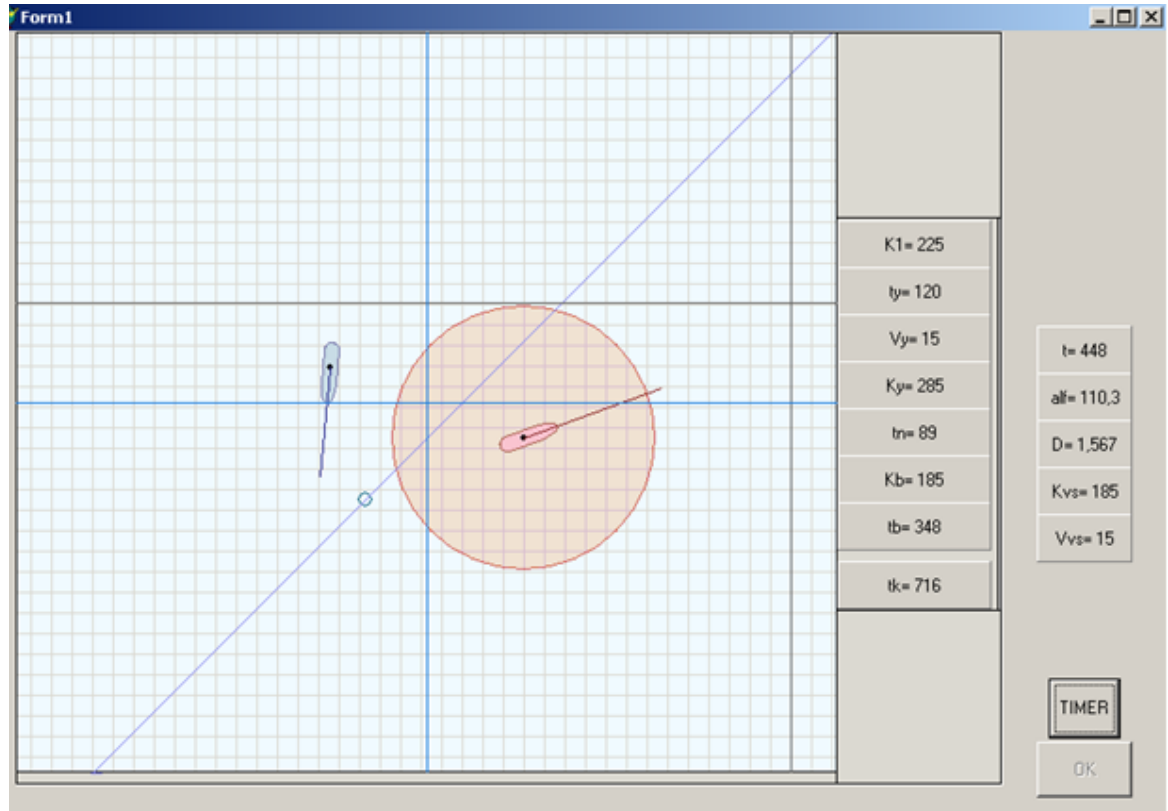


Рис. 5.34. Завершення повороту судна на курс виходу

Розглянемо випадок, коли інтенсивність ситуативного збурення рівна 1 і судно може ухилятися в обидві сторони. Для цього приведемо ситуацію небезпечного зближення судна з ціллю, показану на рис. 5.35, яка характеризується наступними параметрами: пеленгом $\alpha_{12}=180^\circ$, дистанцією $D_{12}=3$ милі, параметрами руху суден $K_1=165^\circ$, $K_2=15^\circ$, $V_1=24$ вузлів і $V_2=17$ вузлів. Як впливає з рис. 5.36, крапка з початковими параметрами руху судна ($K_1=165^\circ$ і $V_1=24$ вузлів) належить області Ω_d , з чого виходить, що необхідно вибрати маневр розходження. Розглянемо можливість вибору маневру розходження зміною курсу судна. Для цього використовуємо клавішу "Situation" і одержуємо, як показано на рис. 5.37, повідомлення про можливість ухилення судна в обидві сторони. На рис. 5.38 показаний вибір маневру розходження ухиленням управо, а на рис. 5.39 - ухиленням вліво.

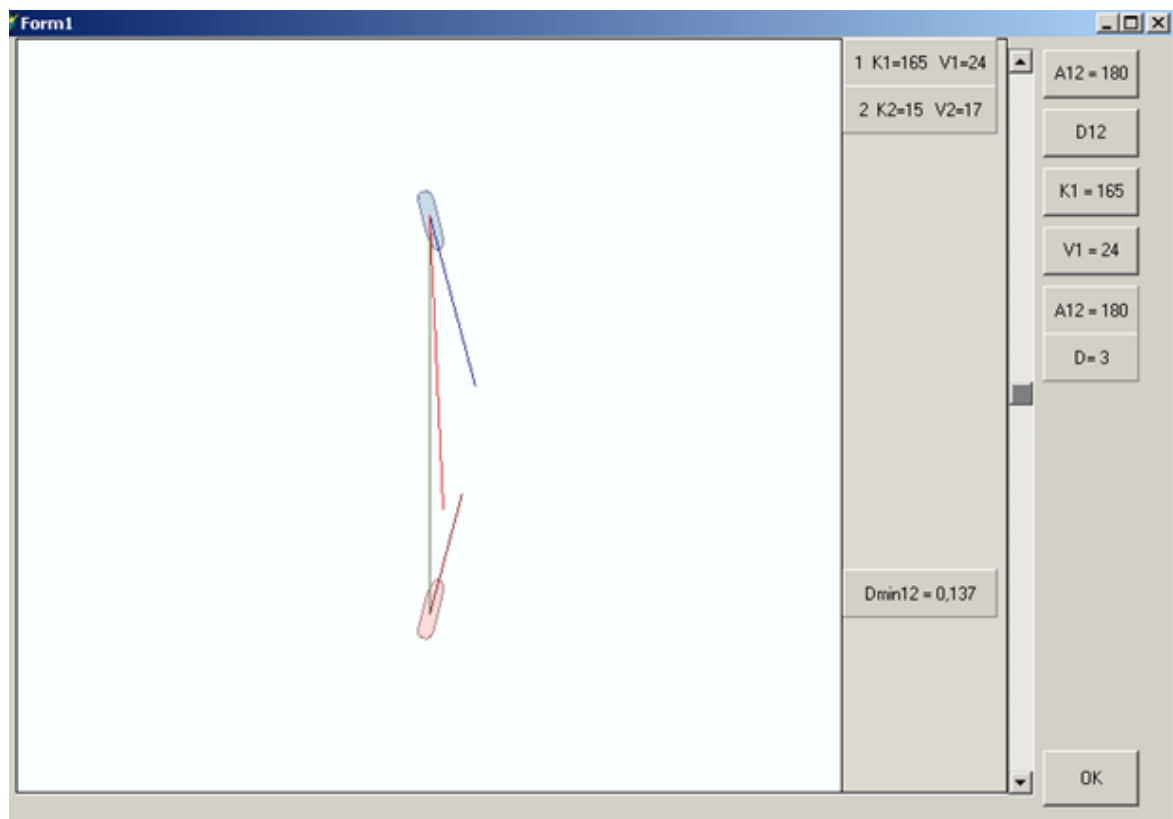


Рис. 5.35. Друга ситуація небезпечного зближення

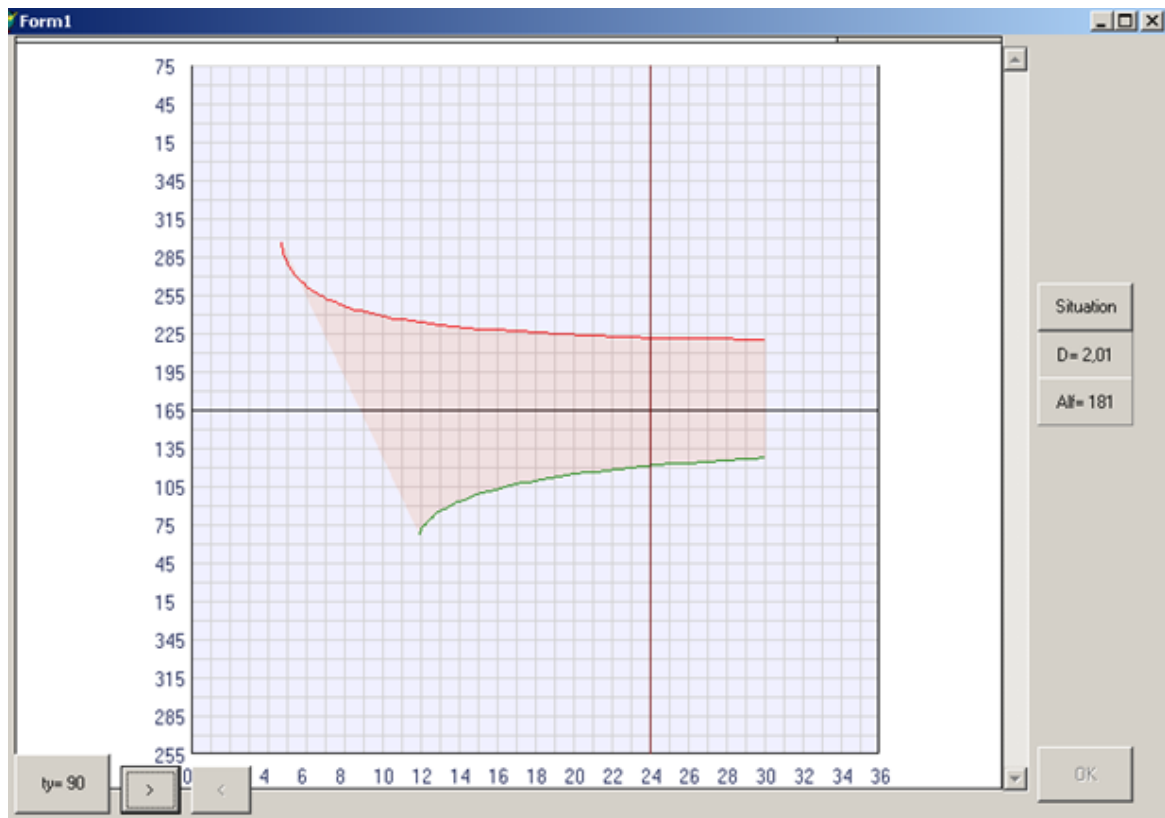


Рис. 5.36. Область небезпечних параметрів руху судна Ω_d

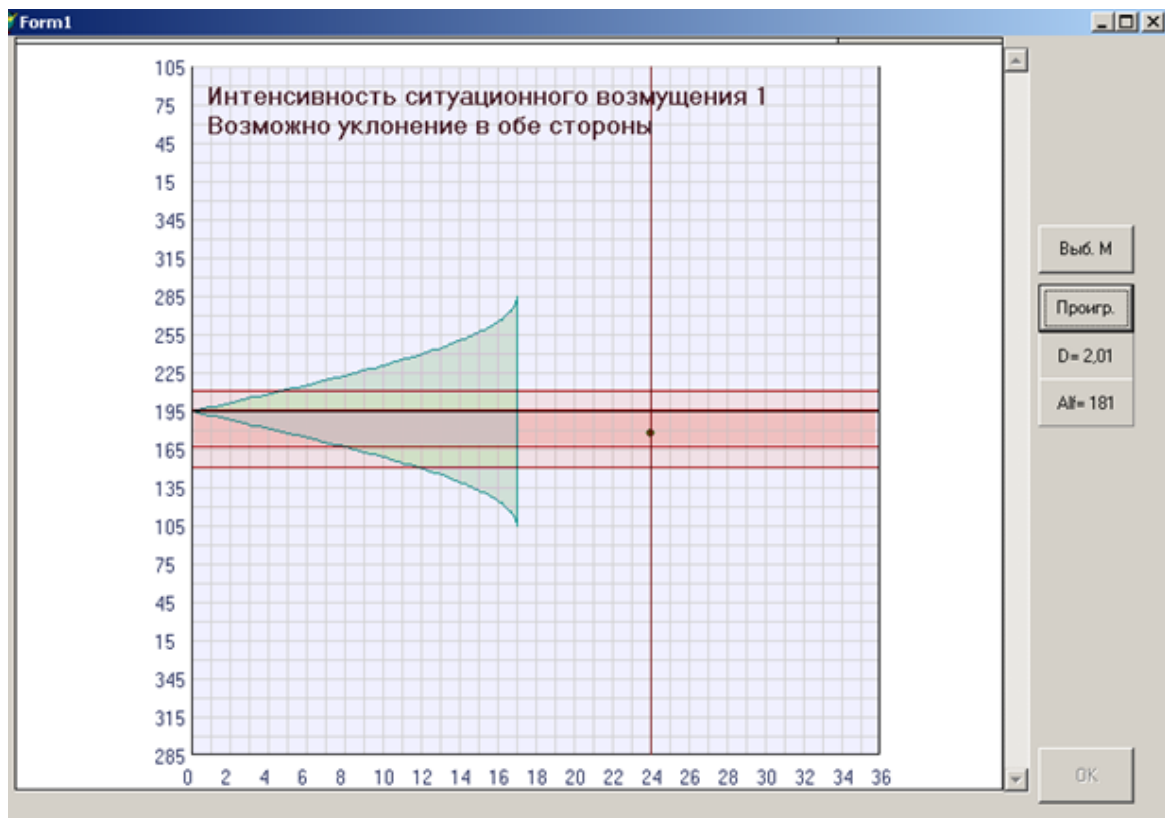


Рис. 5.37. Оцінка інтенсивності ситуативного збурення

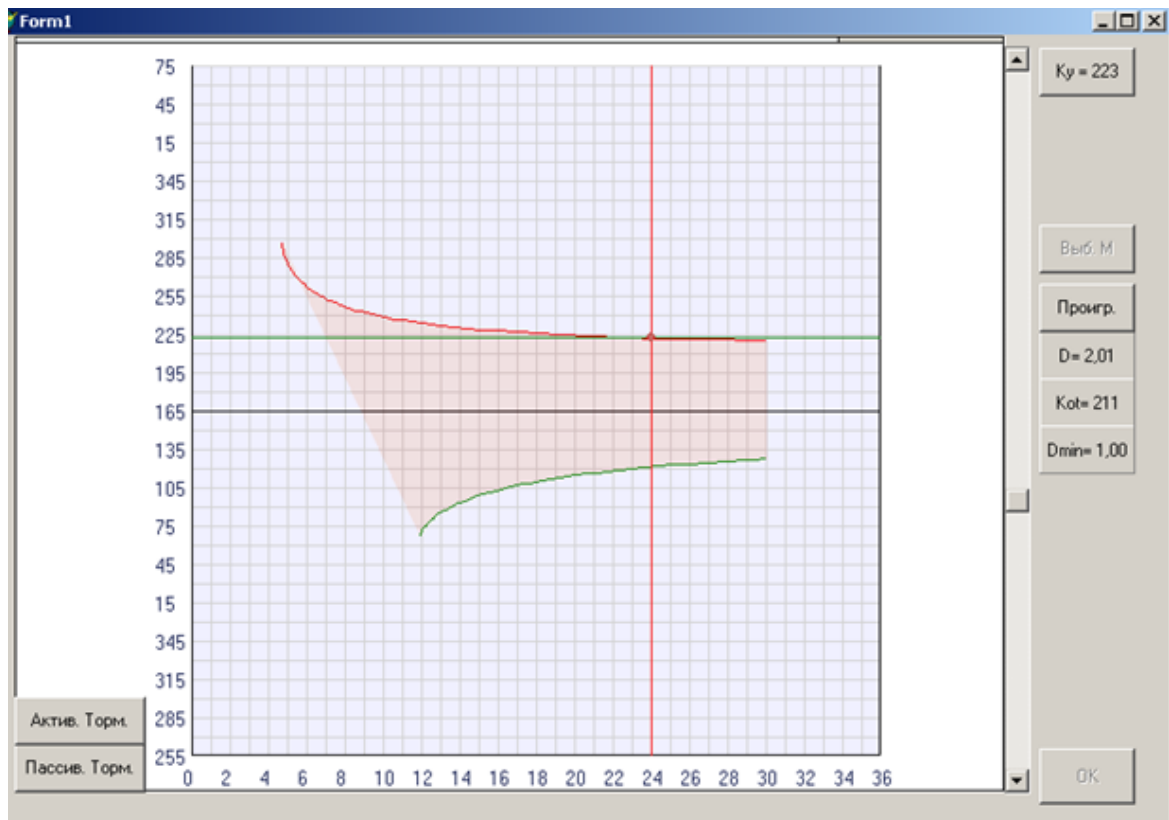


Рис. 5.38. Вибір курсу ухилення судна поворотом управо

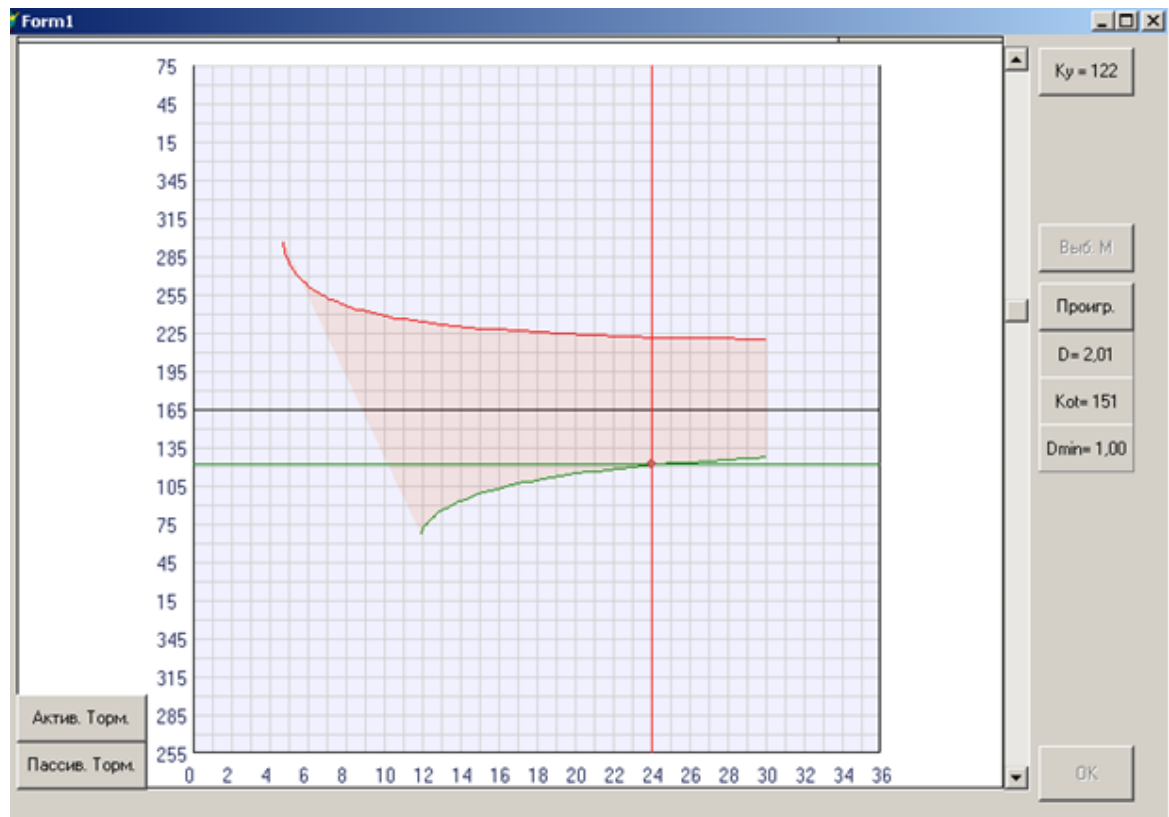


Рис. 5.39. Вибір курсу ухилення судна поворотом вліво

Порівнюючи курси ухилення судна поворотом управо і вліво, звертаємо увагу на те, що при повороті курсу вліво зміна курсу менше, ніж при його повороті управо. Тому вибраний курс ухилення судна рівний 122° поворотом вліво. Цей маневр програвався імітаційною програмою, параметри якого представлені на рис. 5.40.

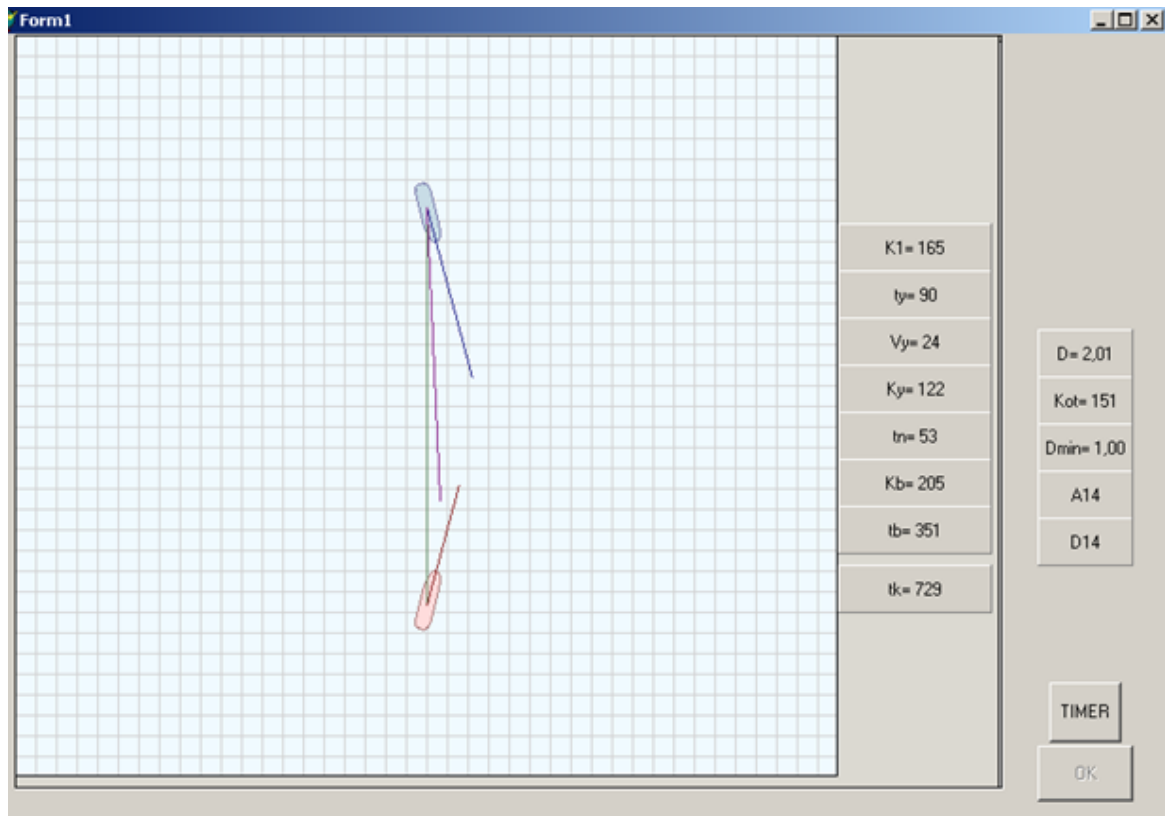


Рис. 5.40. Програвання маневру розходження другої ситуації

Після використання клавіші "TIMER" починається програвання маневру, початковий момент якого показаний на рис. 5.41. З ціллю пов'язана безпечна зона кругової форми, радіус якої рівний гранично-допустимій дистанції. Початок повороту судна на курс ухилення поворотом вліво показаний на рис. 5.42, а його завершення у момент часу 97 с представлено на рис. 5.43. Після цього судно прямує курсом ухилення 122° до найкоротшого зближення, момент появи якого рівний 276 с, як показано на рис. 5.44. При цьому $D_{\min} = 1,08$ м. м., як і передбачалося при виборі маневру розходження.

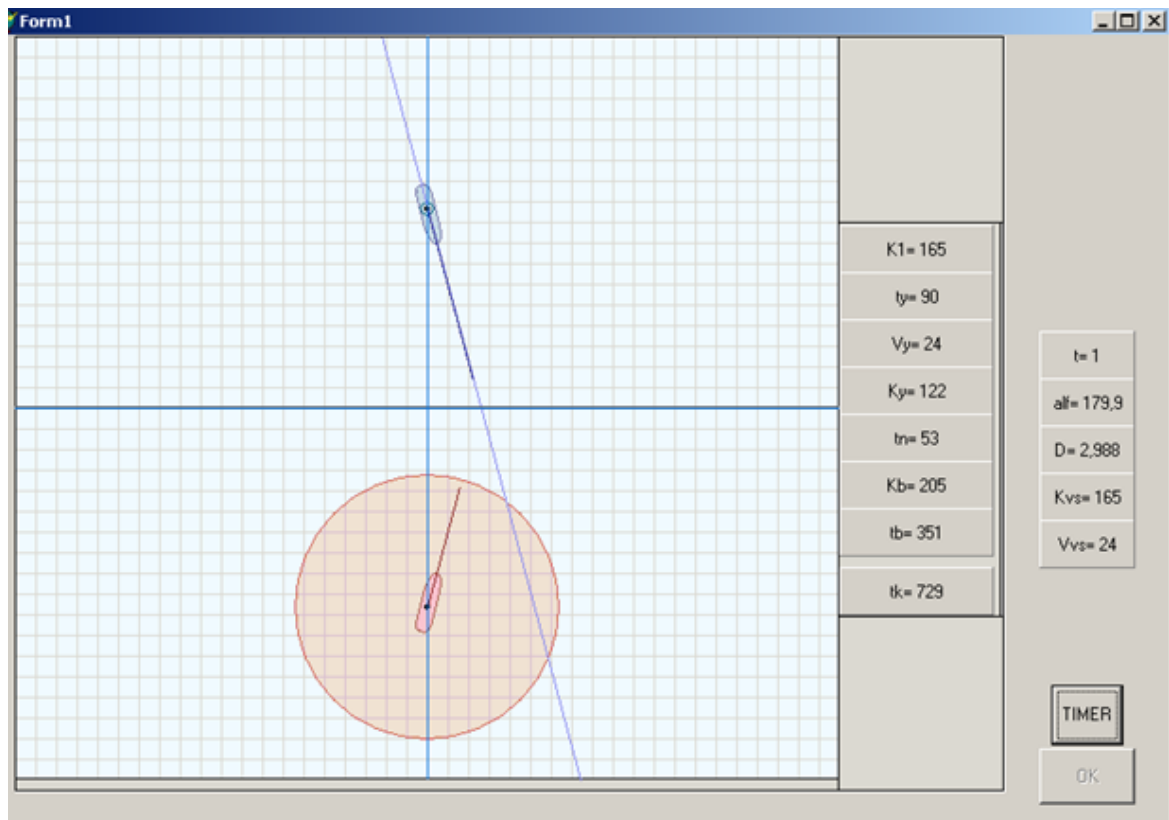


Рис. 5.41. Початок процесу розходження другої ситуації

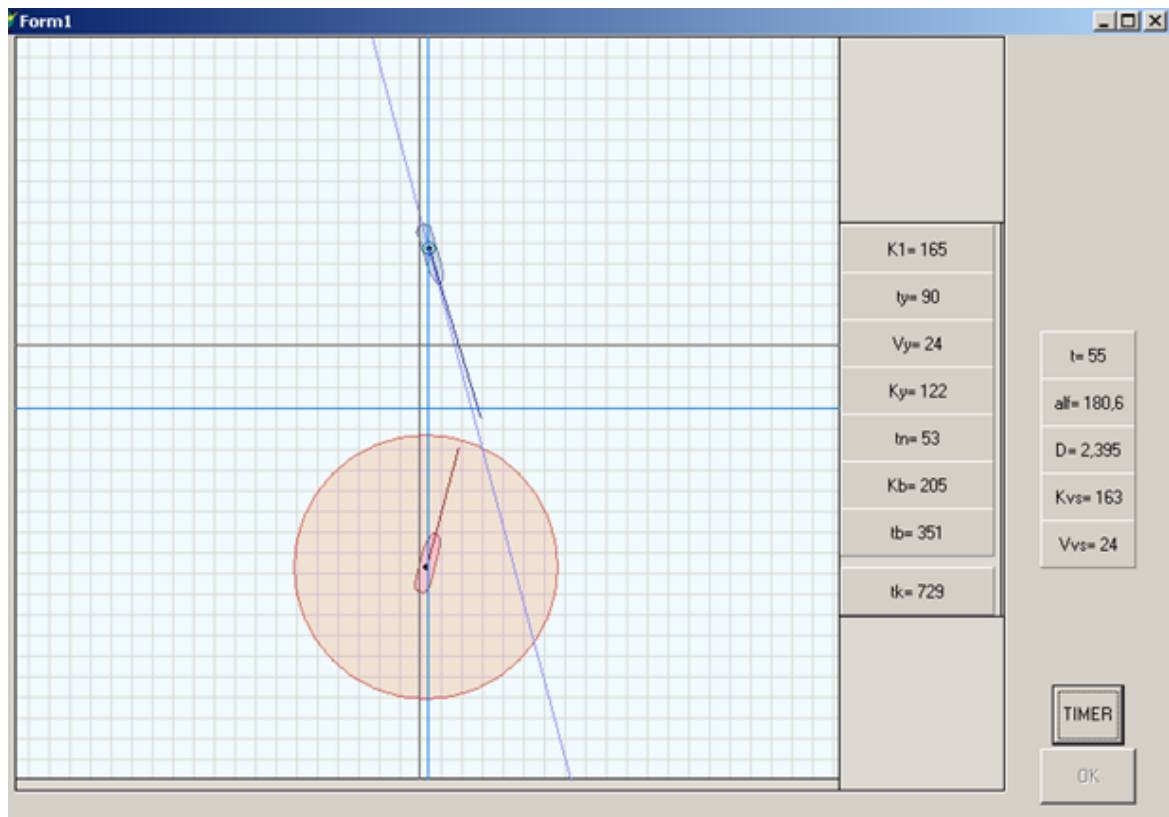


Рис. 5.42. Початок повороту судна вліво на курс ухилення

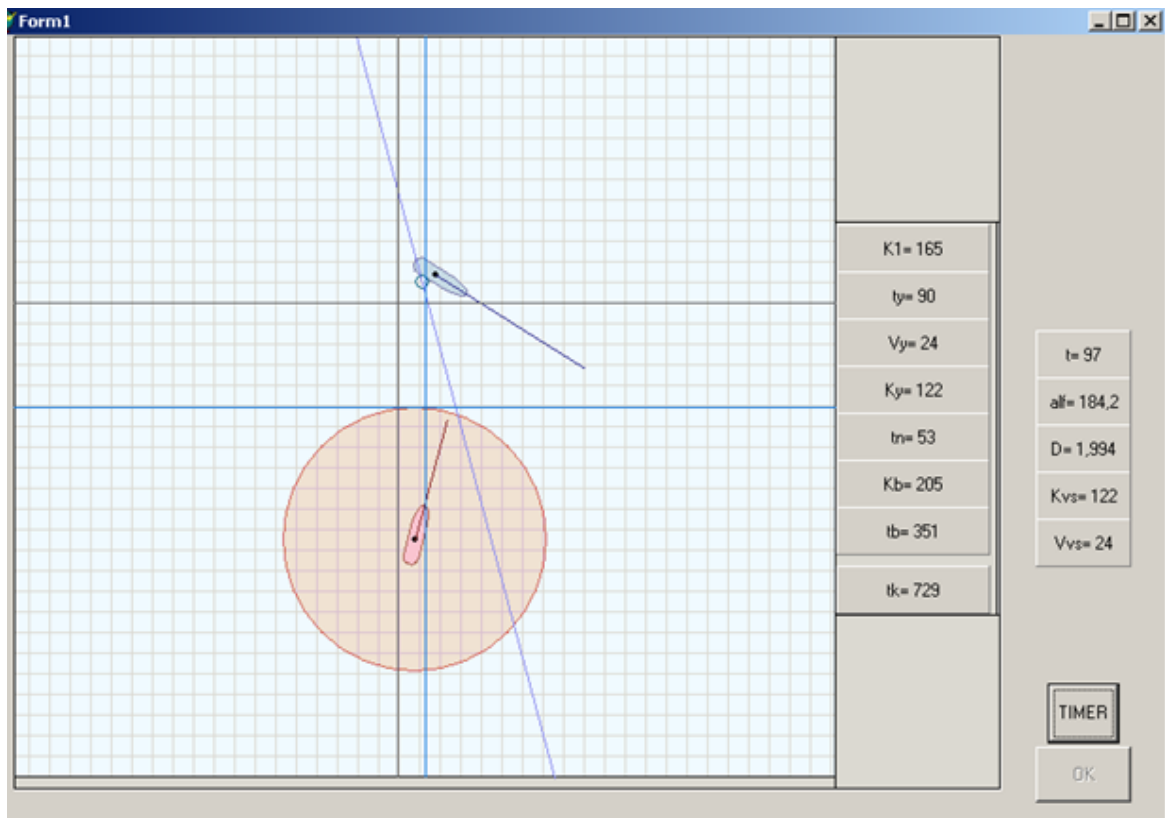


Рис. 5.43. Завершення виходу судна на курс ухилення

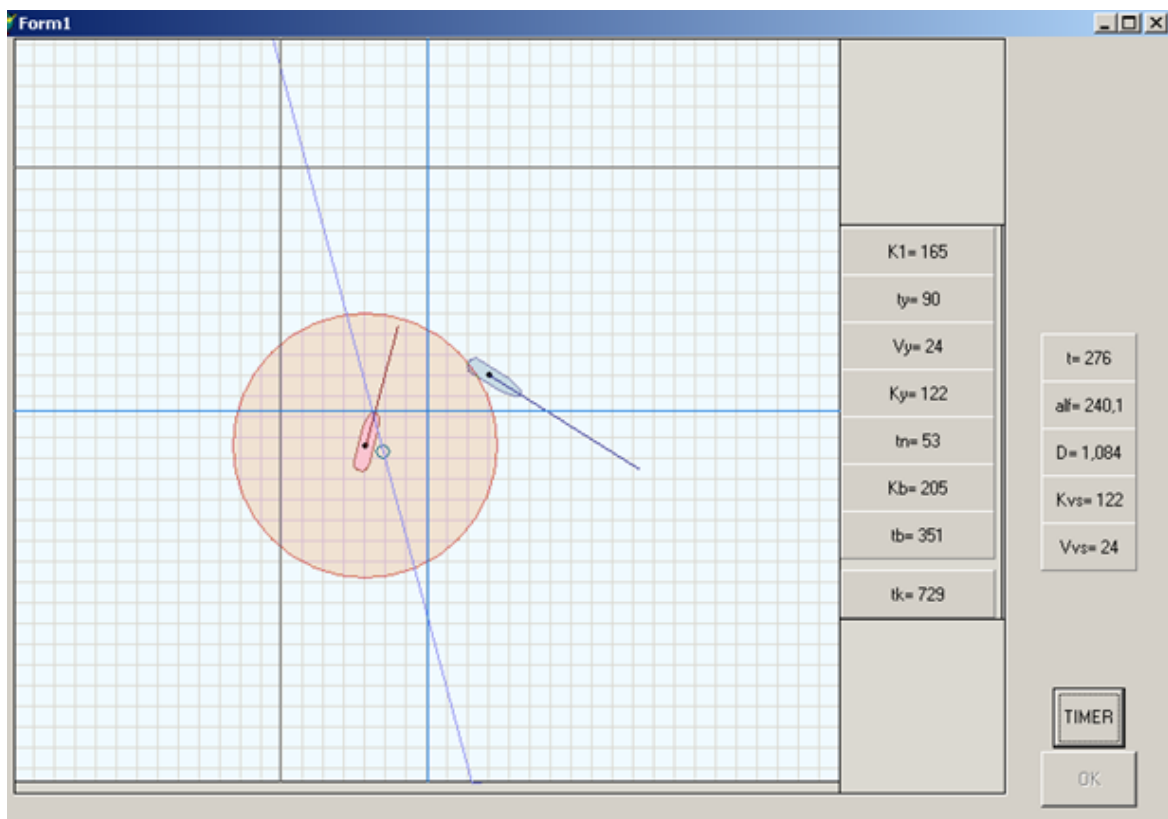


Рис. 5.44. Ситуація найкоротшого зближення судна і цілі

Це підтверджує коректність пропонованого способу вибору маневру розходження при інтенсивності ситуативного збурення рівної 1.

Цим курсом судно продовжує слідувати до 351 с процесу розходження, після чого починає поворот на курс виходу для повернення на програмну траєкторію розходження (рис. 5.45), який завершується на 435 с процесу розходження,

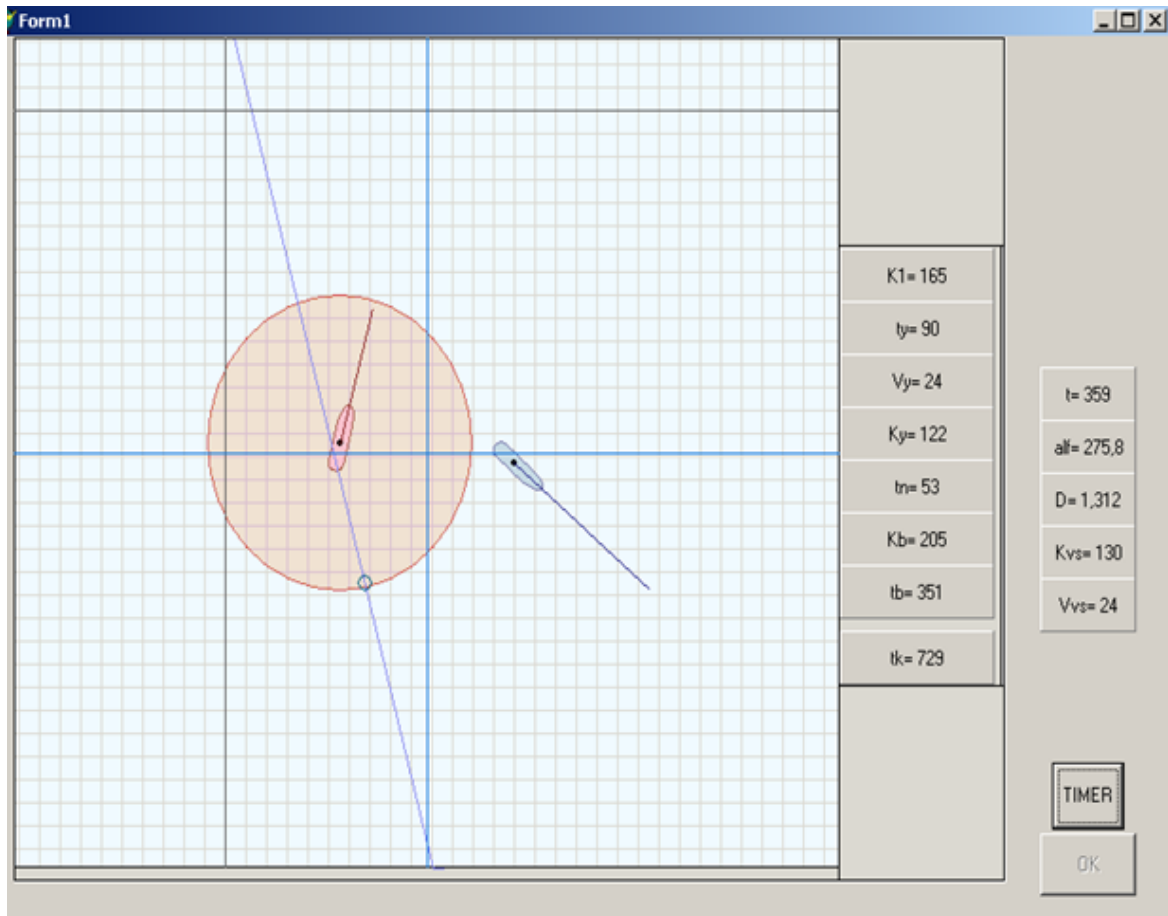


Рис. 5.45. Поворот судна на курс виходу до програмної траєкторії

причому судно лягає на курс виходу, значення якого рівне 205° , як показано на рис. 5.46. Після цього судно прямує цим курсом виходу, поки не досягне програмної траєкторії руху. У момент часу 729 с судно починає поворот на програмний курс, який рівний 165° .

Таким чином, за допомогою імітаційного моделювання при програванні маневрів підтверджена їх коректність в частині вибору маневру зміною курсу судна незалежно від значення інтенсивності ситуативного збурення.

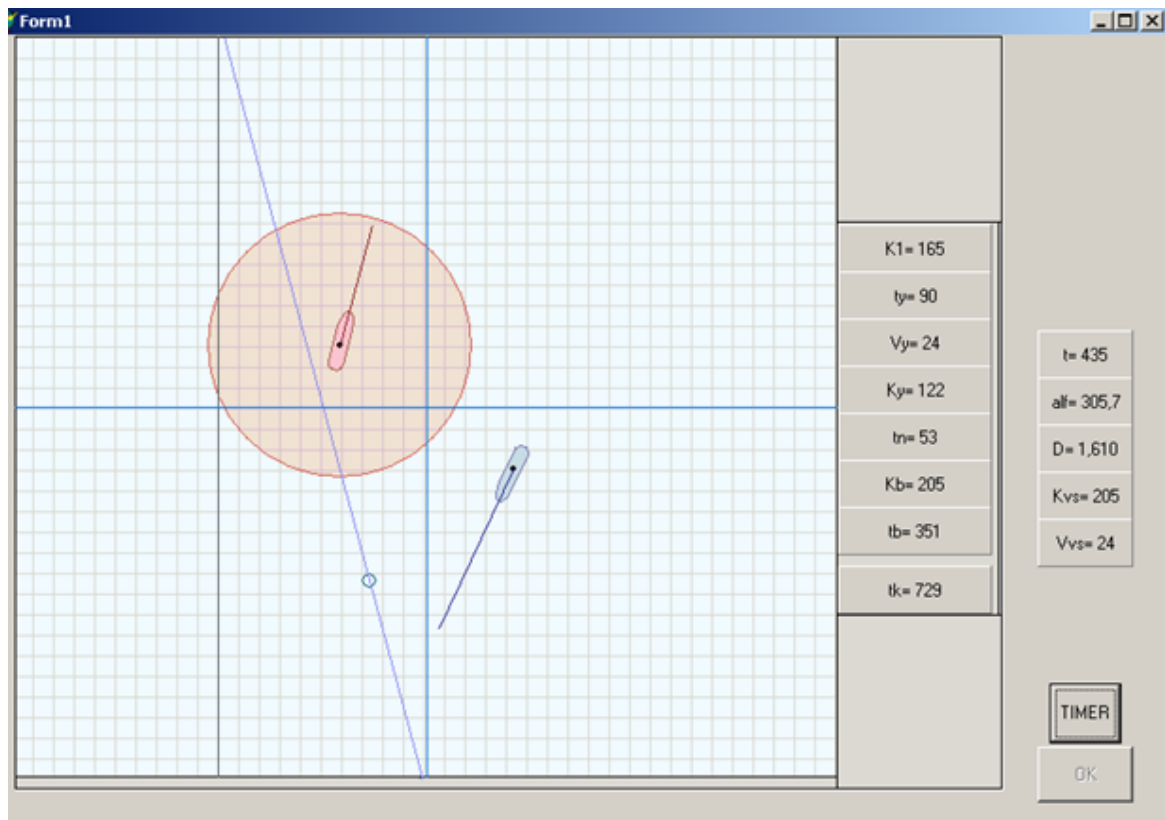


Рис. 5.46. Завершення повороту судна на курс виходу

Потім за допомогою імітаційної програми була розглянута коректність способу вибору маневру розходження зміною швидкості судна при незмінному його курсі при активному і пасивному гальмуванні. Для випадку застосування розходження активним гальмуванням вибрана ситуація небезпечного зближення з параметрами: пеленгом $\alpha_{12}=200^\circ$, дистанцією $D_{12}=3$ милі, параметрами руху суден $K_1=120^\circ$, $K_2=70^\circ$, $V_1=15$ вузлів і $V_2=20$ вузлів. Ця ситуація показана на рис. 5.47 і для неї характерно, що швидкість судна менше швидкості цілі. Після вибору маневру розходження активним гальмуванням, як показано на рис. 5.48, виводиться неприпустима область Θ_{dV} швидкостей і повідомлення про значення оптимальної швидкості

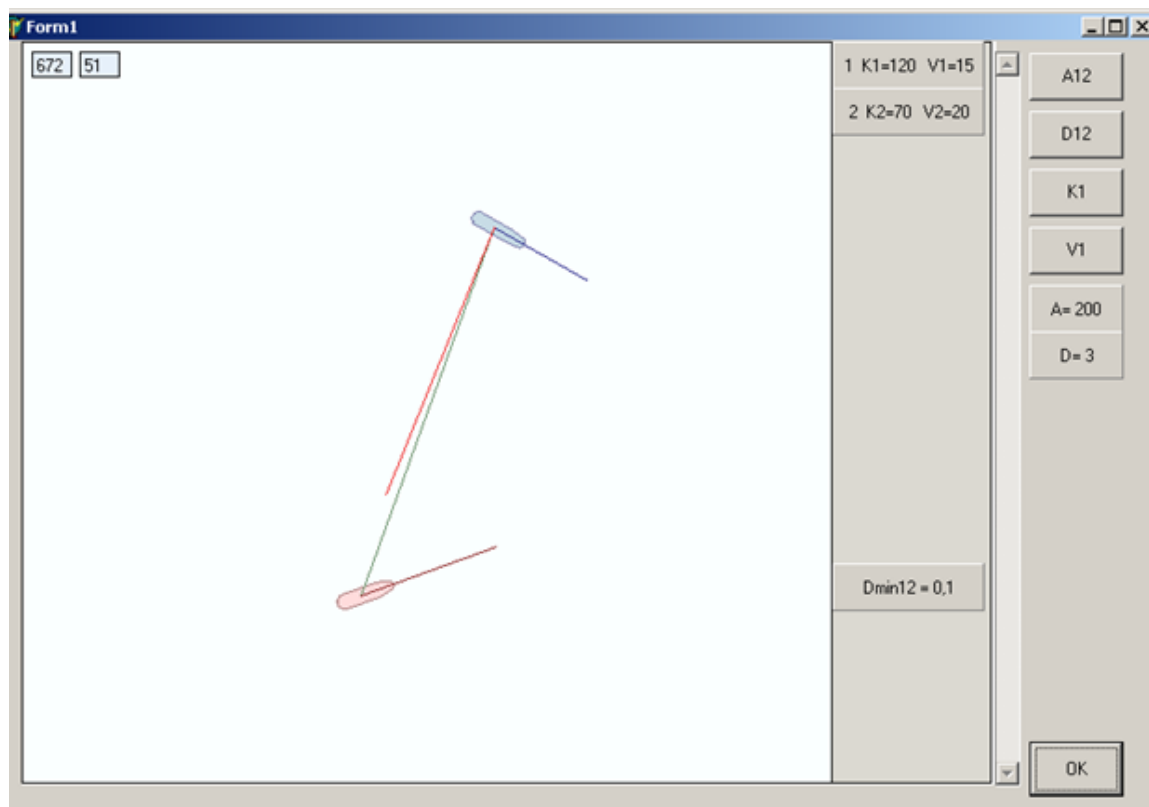


Рис. 5.47. Ситуація зближення при розходженні активним гальмуванням

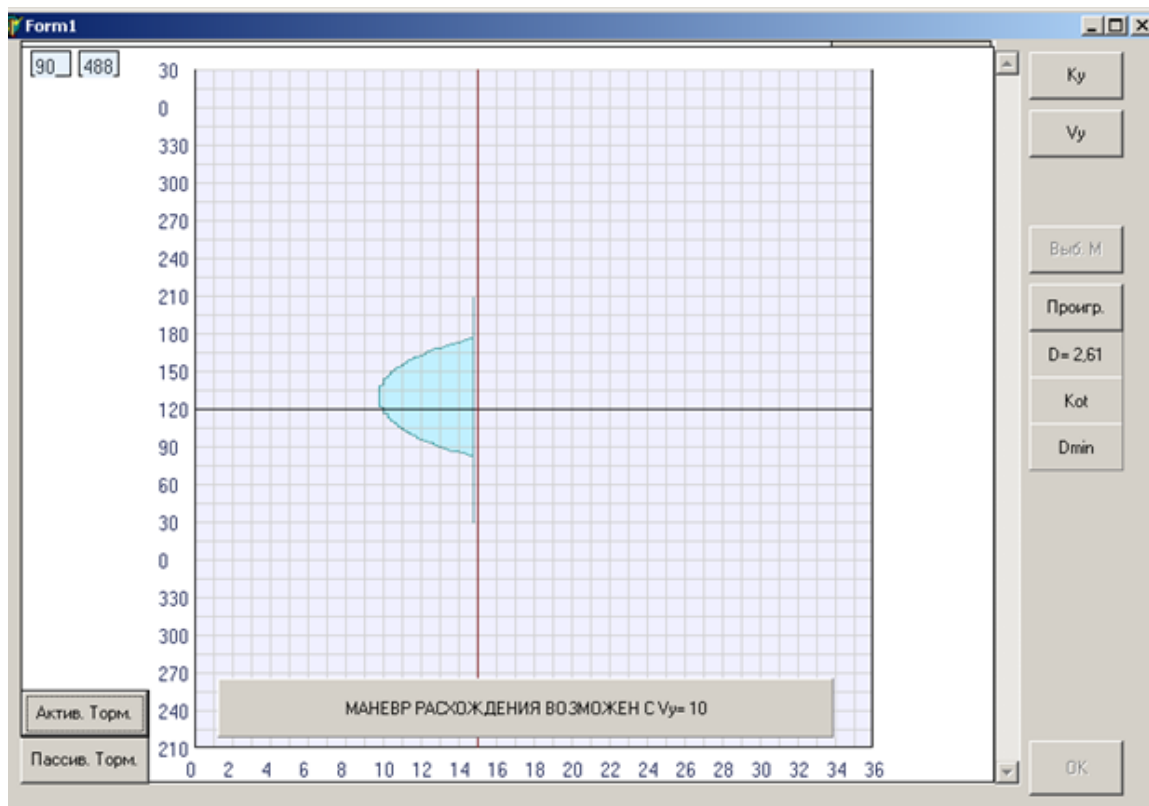


Рис. 5.48. Неприпустима область Θ_{dV} швидкостей активного гальмування

активного гальмування, рівної 10 вузлам. За допомогою клавіші "Vy" і лінійки прокрутки дана швидкість вибирається для розходження (рис. 5.49). Потім за допомогою клавіші "Проигр." вибирається режим програвання

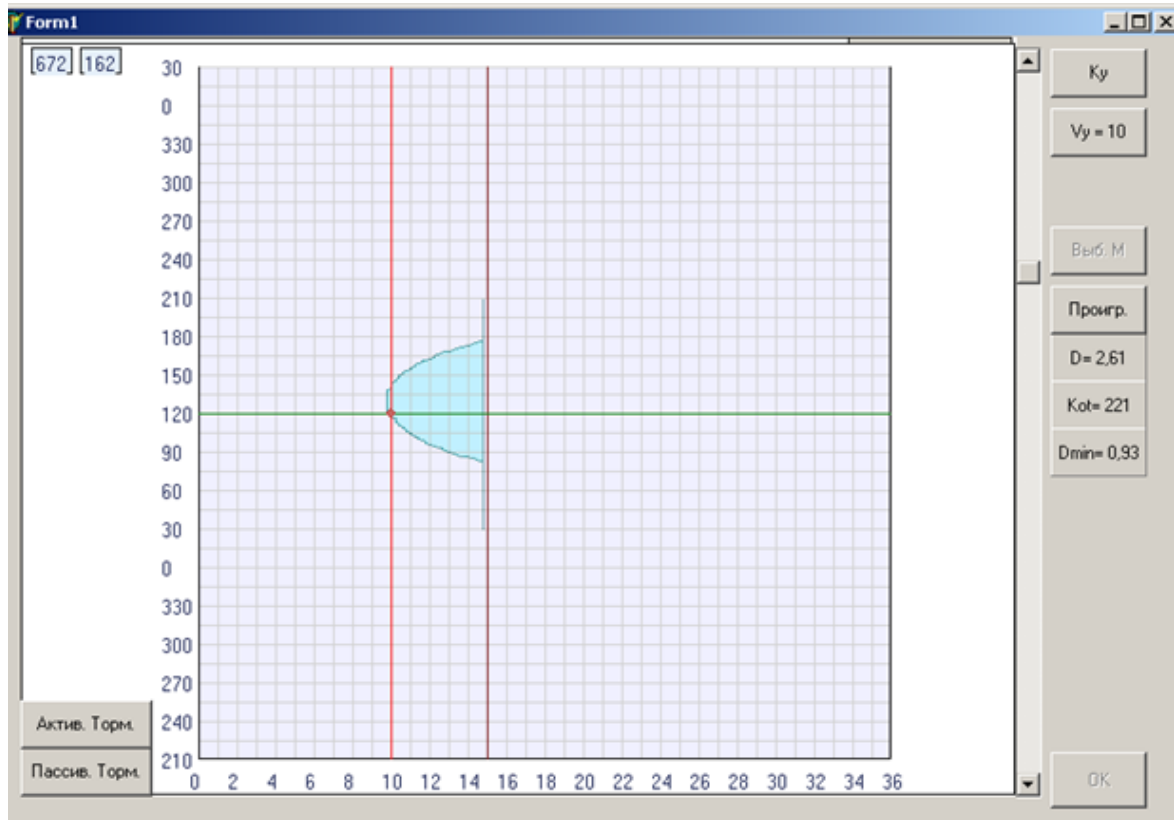


Рис. 5.49. Вибір швидкості розходження при активному гальмуванні

маневру. Як видно з рис. 5.50, для графічного відображення зміни швидкості при гальмуванні виводиться система координат залежності швидкості від часу. Початок програвання маневру розходження активним гальмуванням вибраної ситуації небезпечного зближення показаний на рис. 5.51, а на рис. 5.52 показаний момент часу завершення перехідного процесу і досягнення швидкістю значення швидкості розходження 10 вузлів. З даного моменту часу судно рухається з незмінною швидкістю, продовжуючи зближуватися з ціллю, поки у момент часи 653 с процесу розходження відбувається найкоротше зближення на дистанцію 1,01 м. м. (рис. 5.53), причому

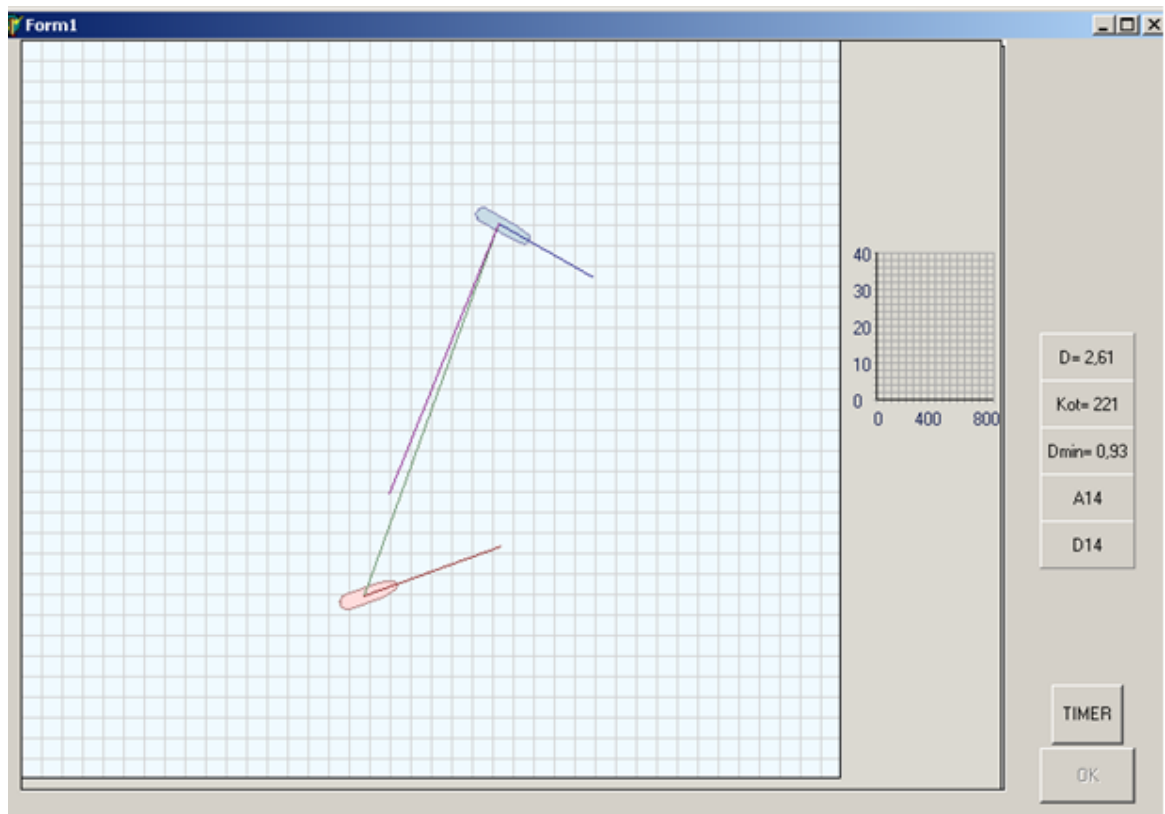


Рис. 5.50. Підготовка до програвання маневру розходження

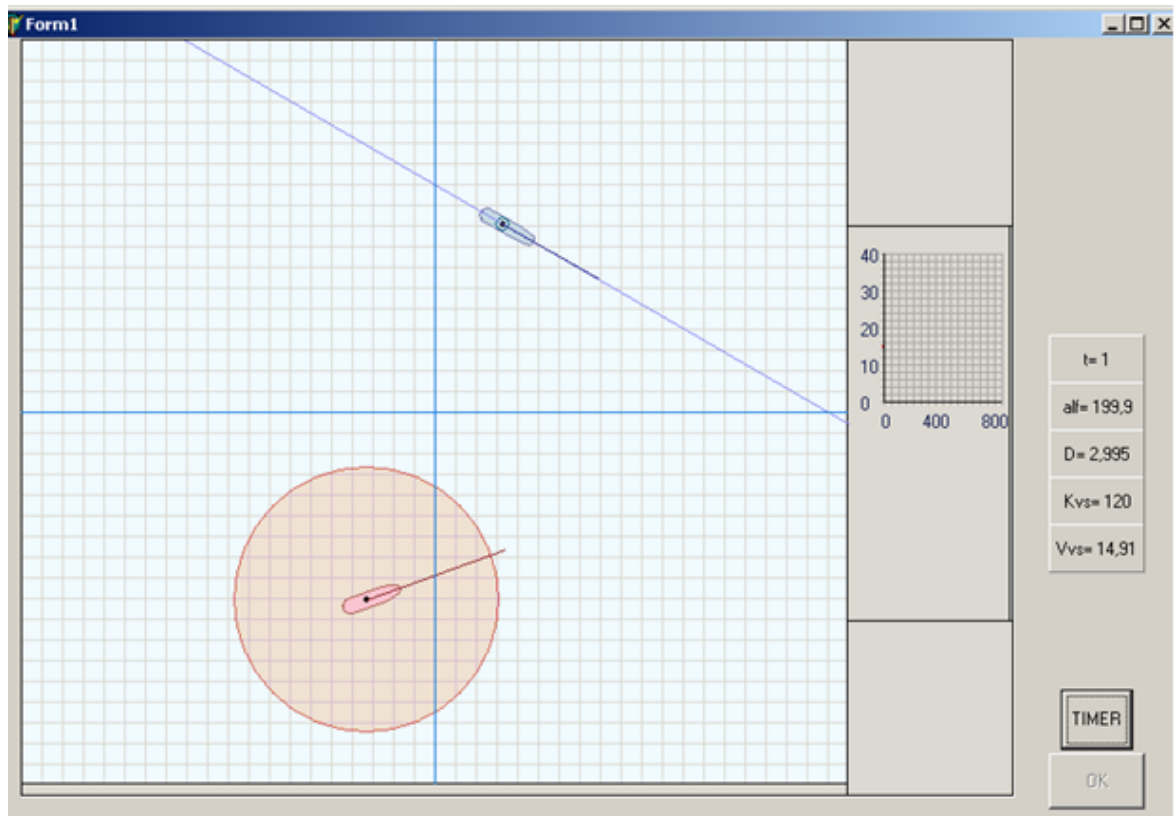


Рис. 5.51. Початок маневру розходження активним гальмуванням

показано графік зміни швидкості при активному гальмуванні. Оскільки дистанція найкоротшого зближення рівна значенню, передбаченому вибраним маневром розходження зниження швидкості активним гальмуванням, то запропонований спосіб розрахунку швидкості розходження є коректним. Завершення процесу розходження представлено на рис. 5.54.

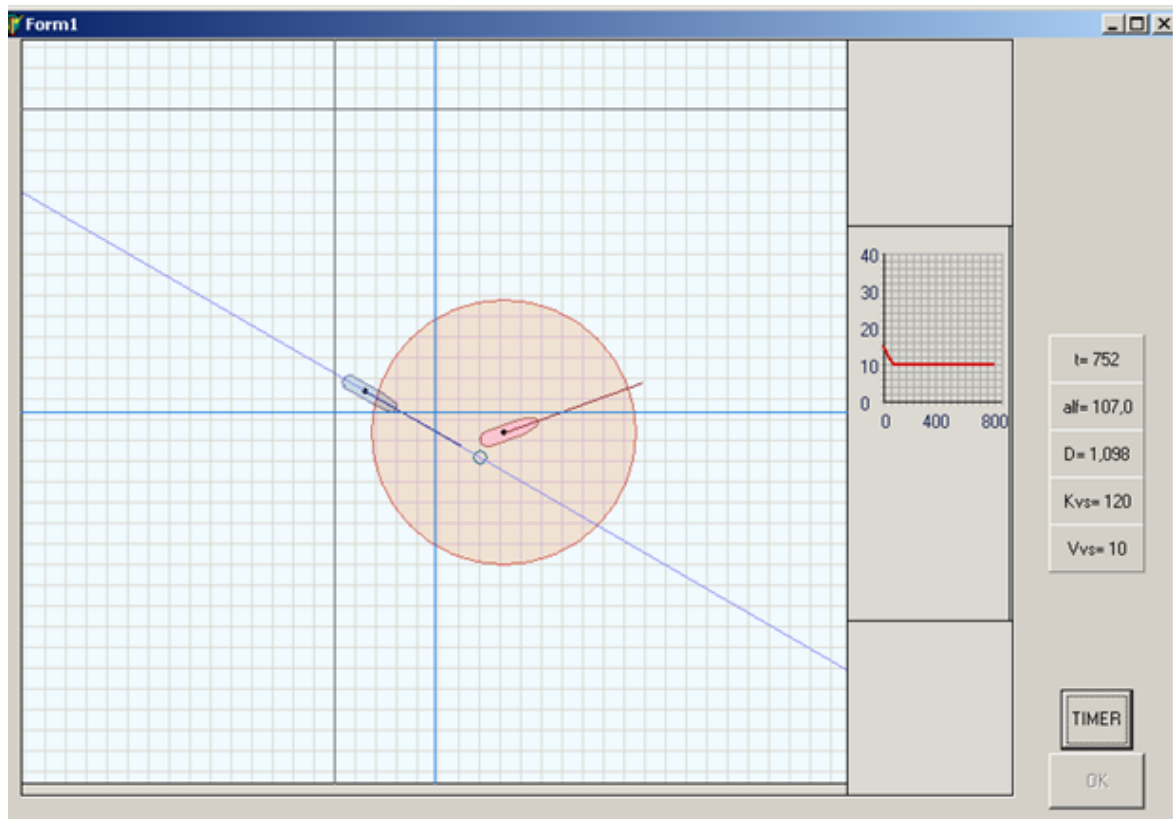


Рис. 5.54. Завершення процесу розходження

Розглянемо розходження судна з небезпечною ціллю пасивним гальмуванням у разі, коли швидкість судна вища швидкості цілі. Для цього приведемо ситуацію небезпечного зближення, яка показана на рис. 5.55, причому вона характеризується наступними параметрами: пеленгом $\alpha_{12} = 160^\circ$, дистанцією $D_{12} = 3$ милі, параметрами руху суден $K_1 = 120^\circ$, $K_2 = 70^\circ$, $V_1 = 23$ вузлів і $V_2 = 15$ вузлів. Прогнозована дистанція найкоротшого зближення $D_{\min} = 0,036$ м. м.

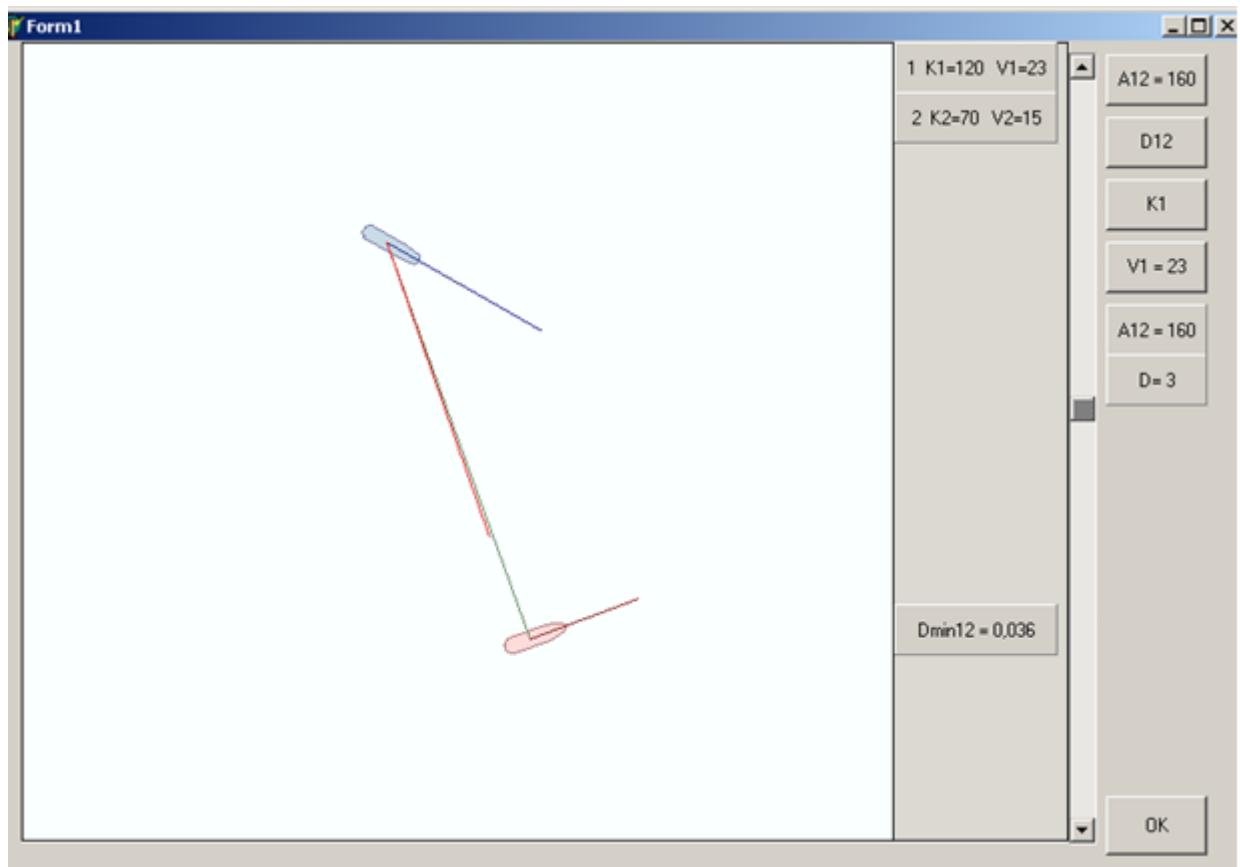


Рис. 5.55. Ситуація зближення при розходженні пасивним гальмуванням

При виборі маневру розходження зниженням швидкості пасивним гальмуванням виводиться повідомлення про значення оптимальної швидкості розходження 15,8 вузлів (рис. 5.56) і область неприпустимих швидкостей і курсів Θ_{dV} . На рис. 5.57 показано початок програмування запропонованого маневру розходження пасивним гальмуванням, причому зниження швидкості починається в нульовий момент часу. На 59 с процесу розходження завершується зниження швидкості з 23 вузлів до 15,8 вузлів, як впливає з рис. 5.58, і далі судно рухається незмінною швидкістю. Найкоротше зближення судна з ціллю відбувається на 756 с процесу розходження і показане на рис. 5.59, дистанція найкоротшого зближення рівна 1,07, тобто гранично-допустимій дистанції, що передбачалося при виборі маневру розходження. Отже, спосіб вибору маневру розходження пасивним гальмуванням є коректним. На рис. 5.60 представлено завершення маневру

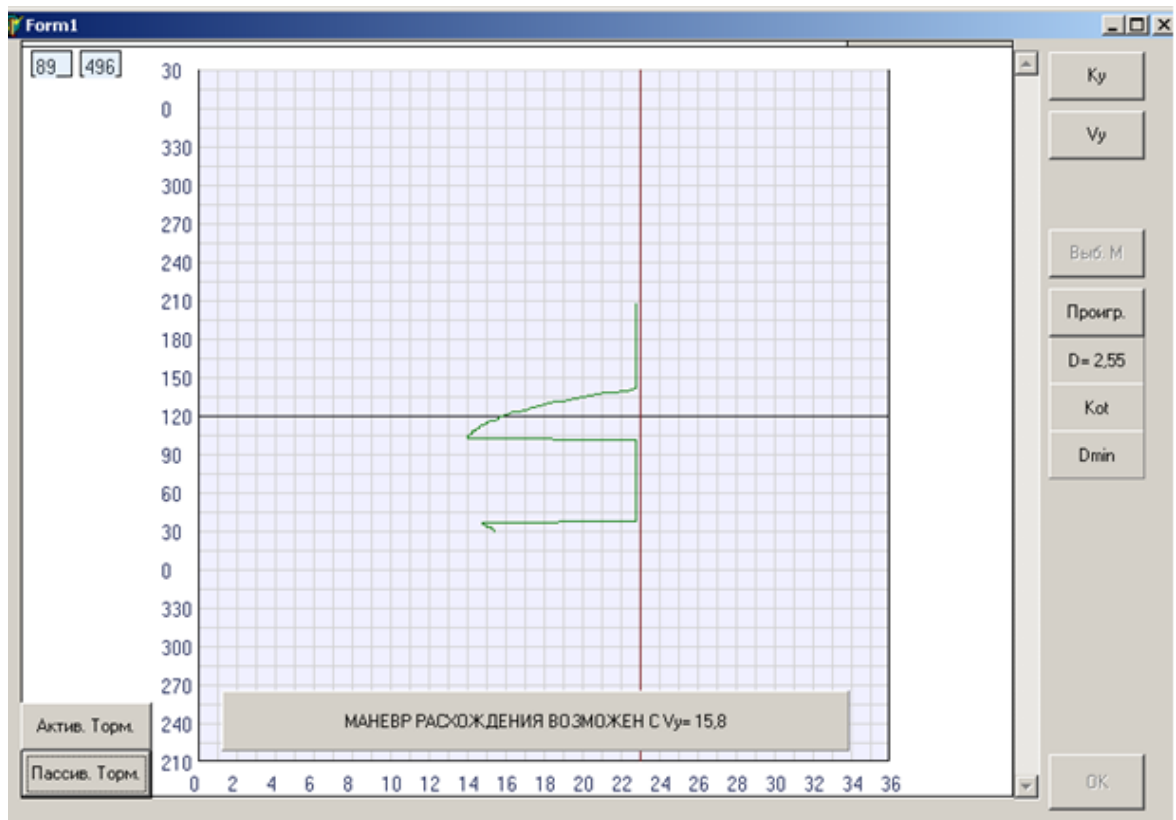


Рис. 5.56. Область Θ_{dV} і швидкість розходження пасивним гальмуванням

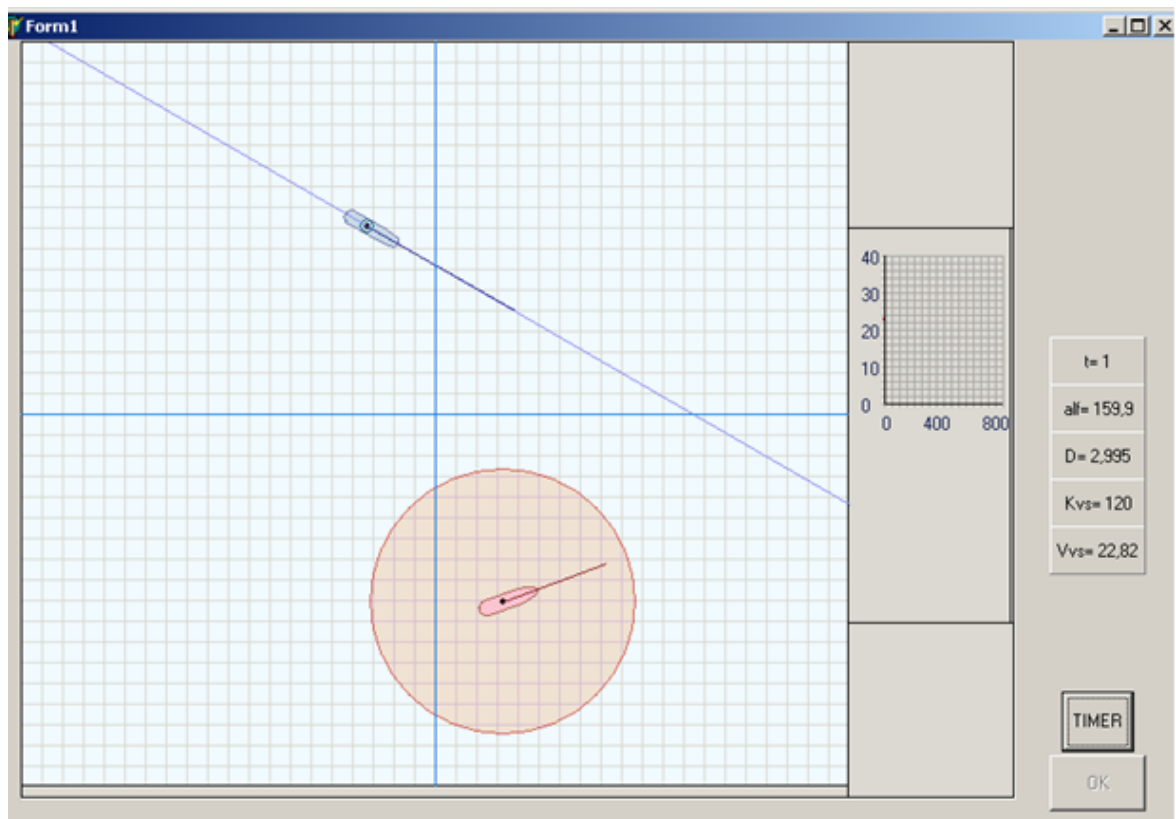


Рис. 5.57. Початок програвання маневру розходження

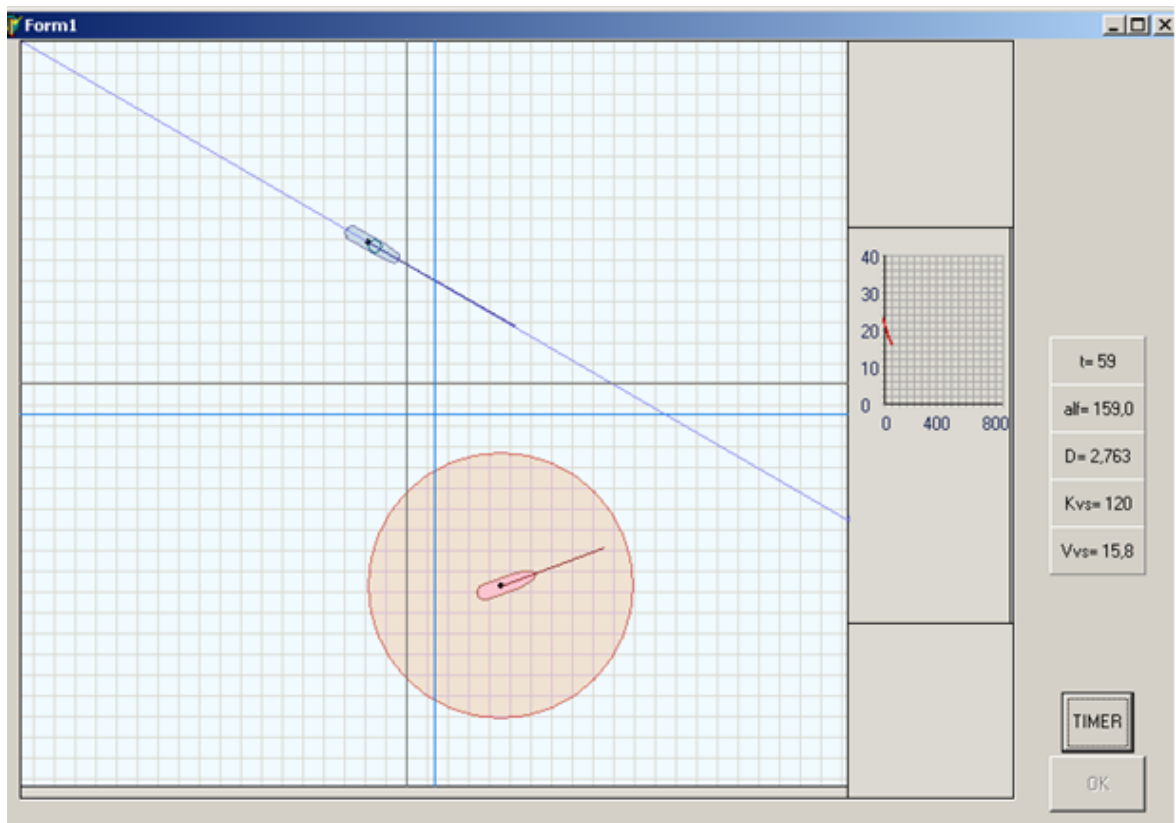


Рис. 5.58. Завершення перехідного процесу зниження швидкості

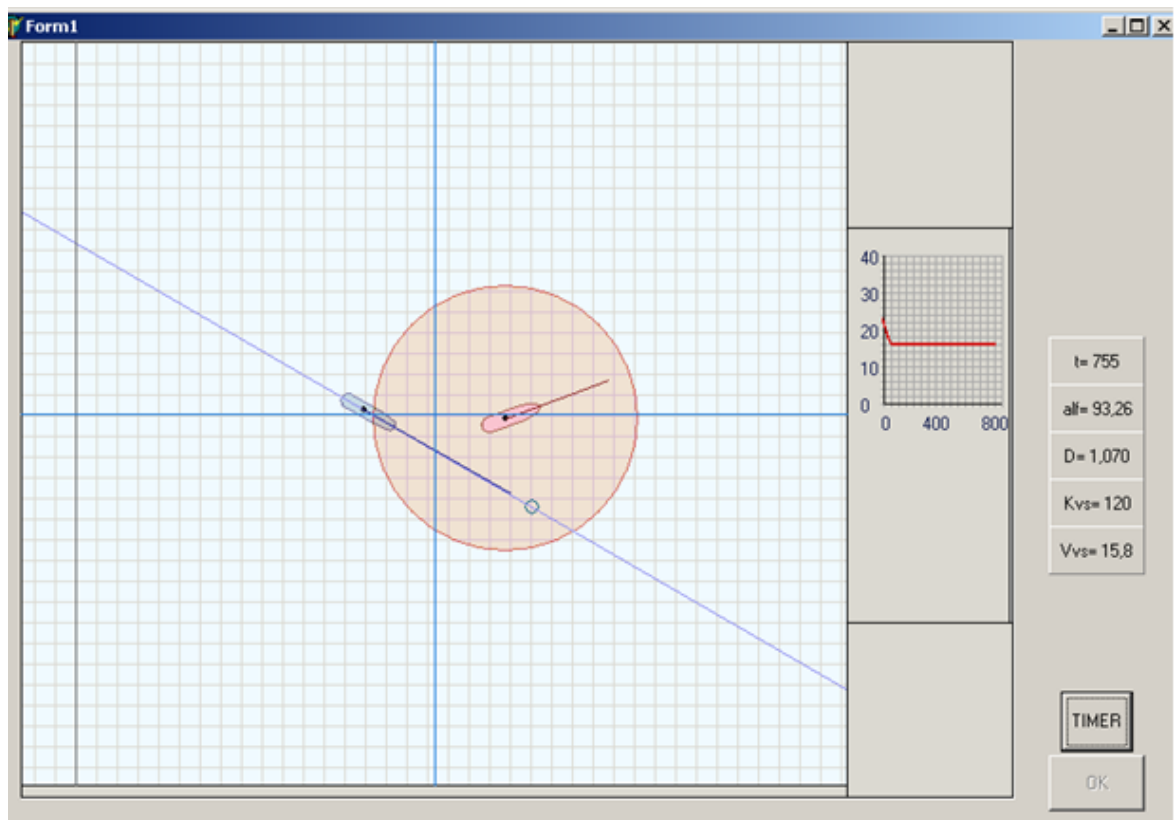


Рис. 5.59. Найкоротше зближення судна з ціллю

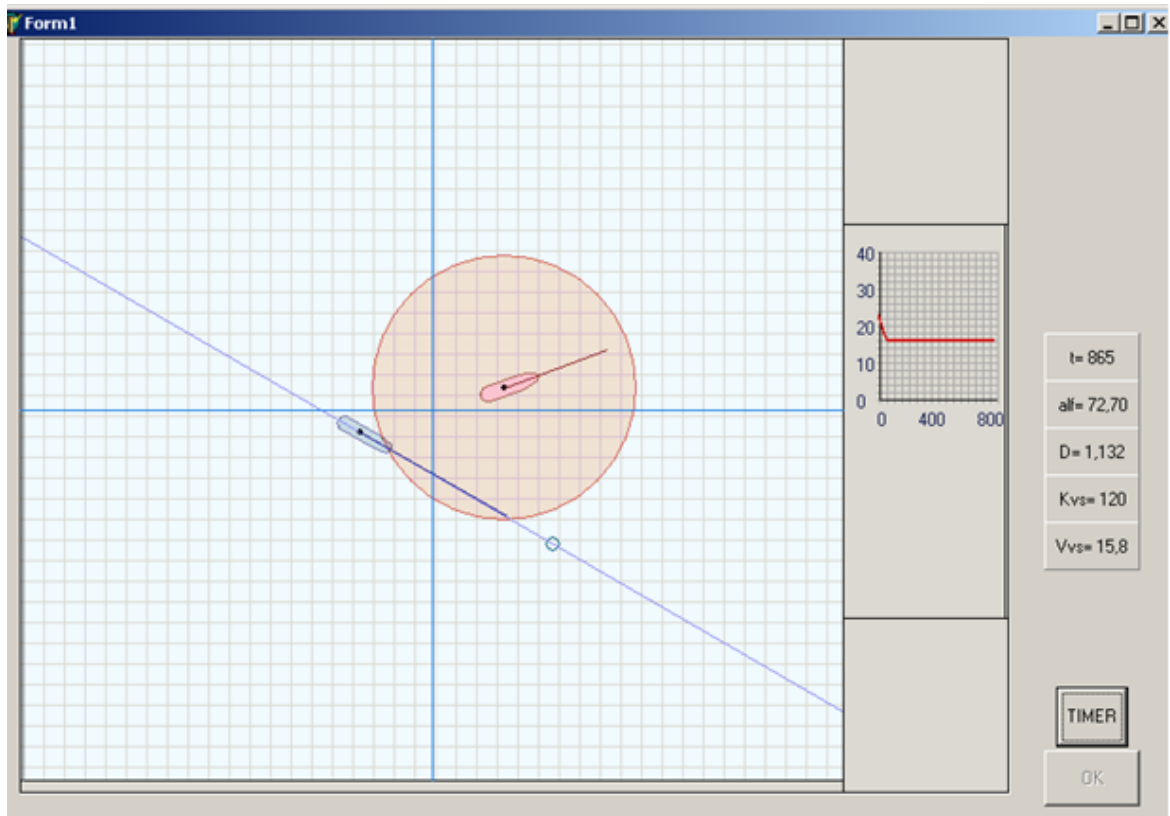


Рис. 5.60. Завершення маневру розходження

розходження, і судно може збільшувати свою швидкість до початкового значення.

На закінчення розглянемо ситуацію небезпечного зближення судна з ціллю, коли для безпечної розходження необхідна зміна курсу з подальшим гальмуванням. Для цього скористаємося ситуацією, яка представлена на рис. 5.61 і характеризується наступними параметрами: пеленгом $\alpha_{12}=200^\circ$, дистанцією $D_{12}=3$ милі, параметрами руху суден $K_1=165^\circ$, $K_2=70^\circ$, $V_1=25$ вузлів і $V_2=16$ вузлів. Прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення рівне 0,203 м. м. Як показано на рис. 5.62, ситуація зближення судна з ціллю є небезпечною, оскільки точка початкових параметрів руху судна належить області неприпустимих параметрів його руху. Після вибору маневру розходження пасивним гальмуванням виводиться повідомлення про неможливість безпечного маневру пасивним гальмуванням на програмному

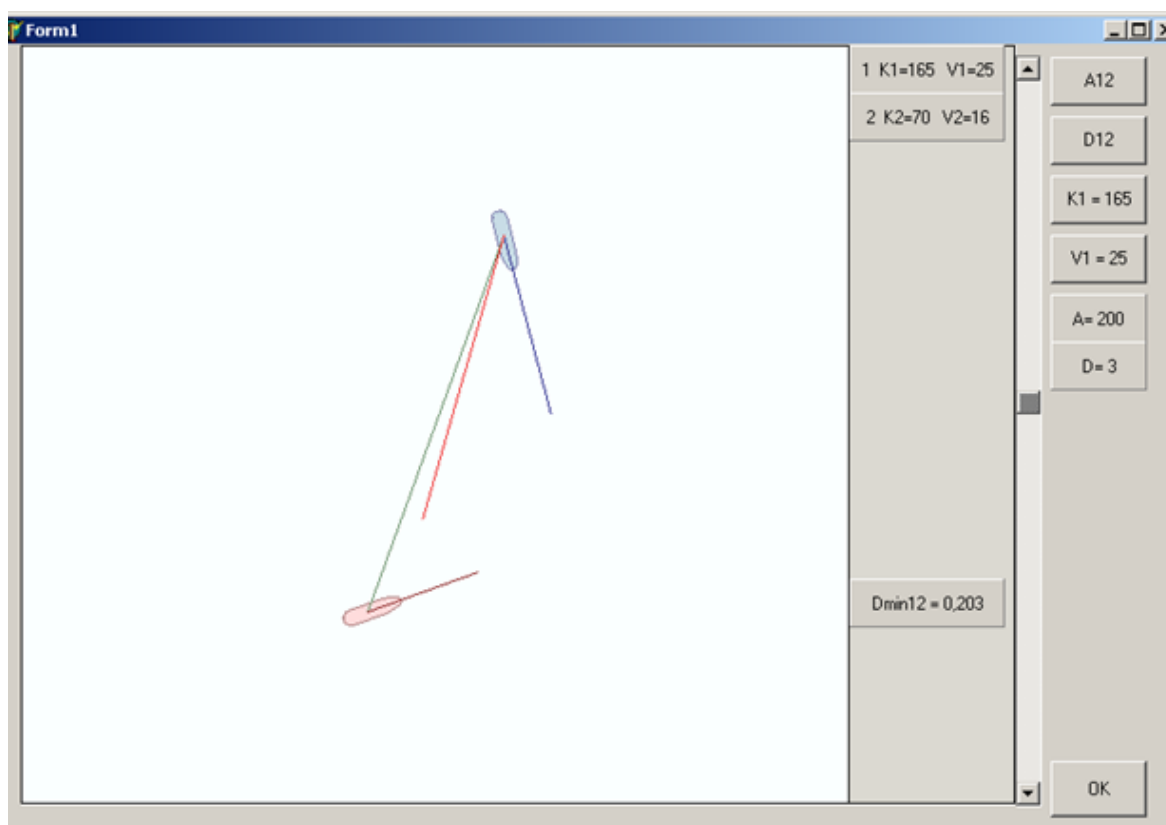


Рис. 5.61. Ситуація розходження зміною курсу і швидкості

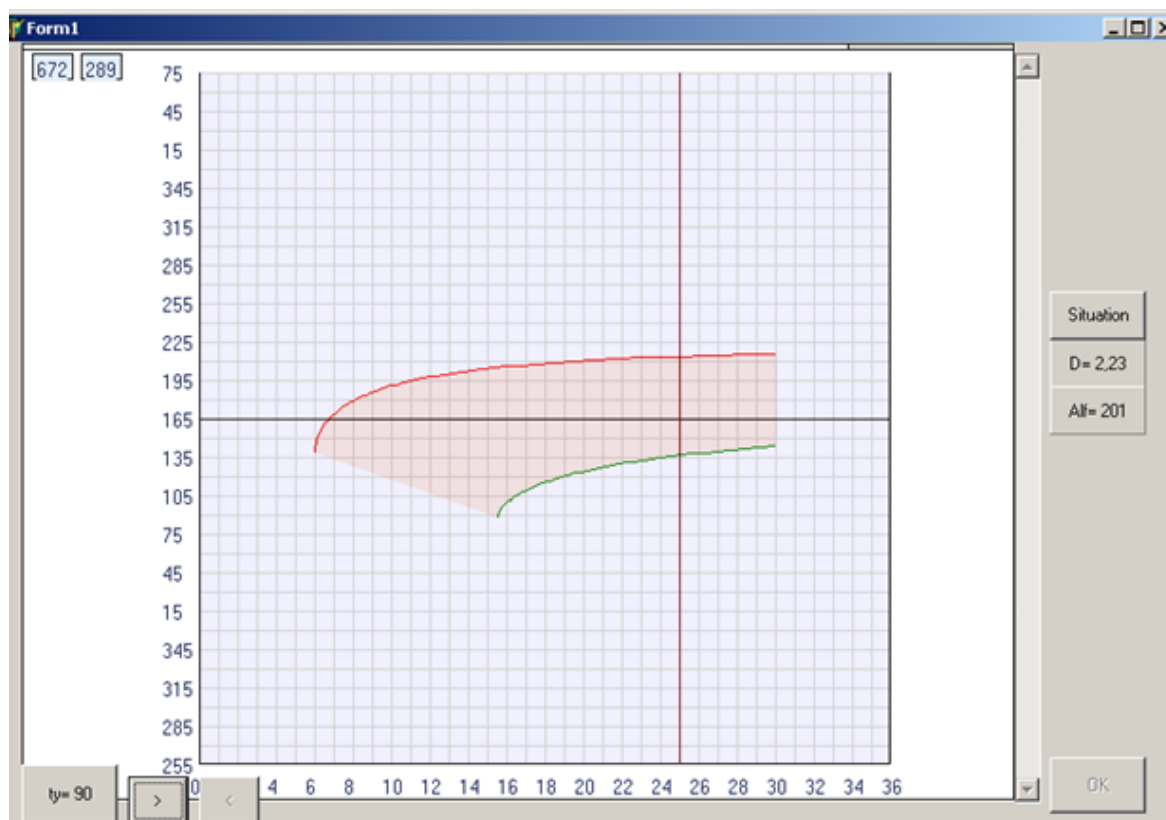


Рис. 5.62. Аналіз небезпеки ситуації зближення

курсі і виводиться неприпустима область Θ_{dV} швидкостей пасивного гальмування (рис. 5.63). Отже, для безпечного розходження необхідно

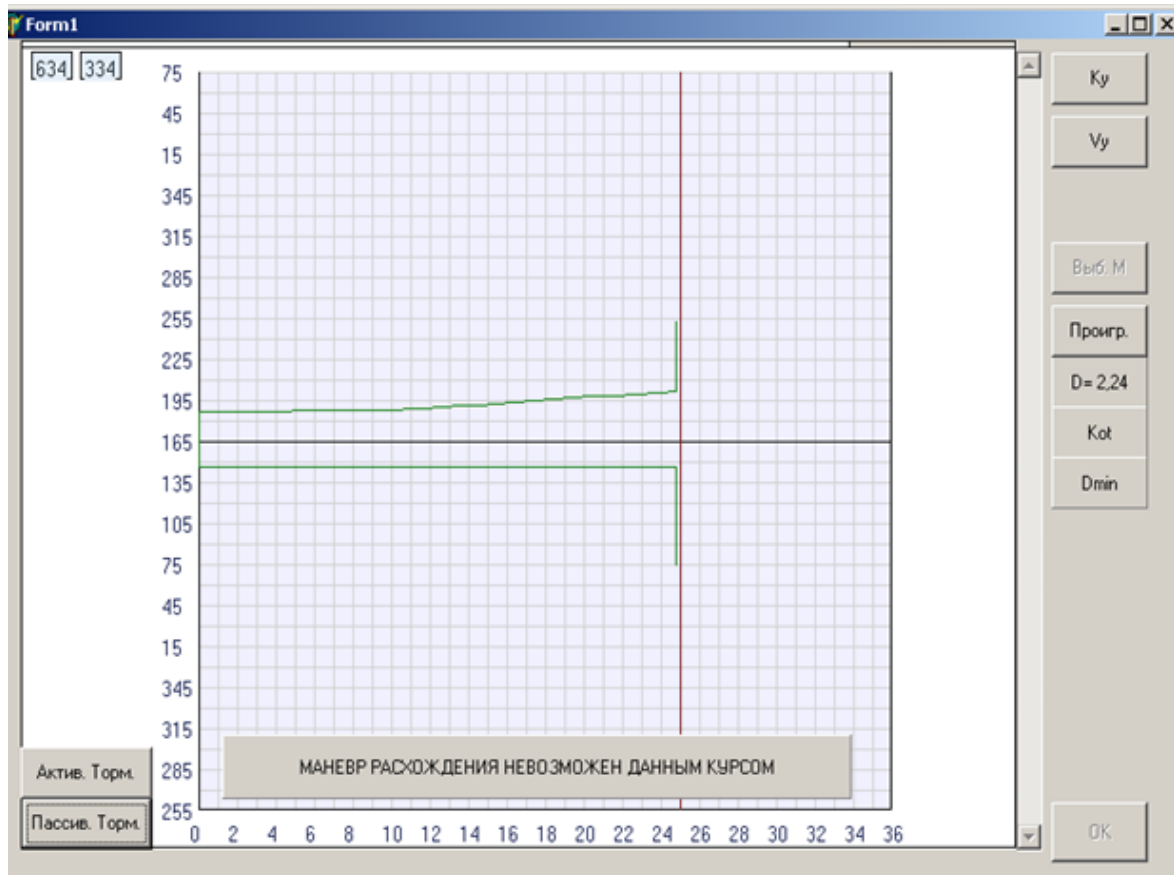


Рис. 5.63. Неприпустима область Θ_{dV} швидкостей пасивного гальмування

змінити початковий курс і для нього з допомогою області Θ_{dV} вибрати швидкість пасивного гальмування. Як показано на рис. 5.64, вибраний курс 189° , якому відповідає швидкість розходження 13,4 вузли, визначувана межею області Θ_{dV} . Тому маневр розходження містить два етапи: по-перше, судно повертає на вибраний курс і, по-друге, по завершенню повороту судно починає пасивне гальмування до швидкості 13,4 вузли. Після цього прямує з цією швидкістю до найкоротшого зближення. Потім судно може повертатися на програмну траєкторію руху. Початок повороту судна на вибраний курс ухилення показаний на рис. 5.65, причому при повороті судно не змінює швидкість. На 24 с процесу розходження судно повертає на курс ухилення

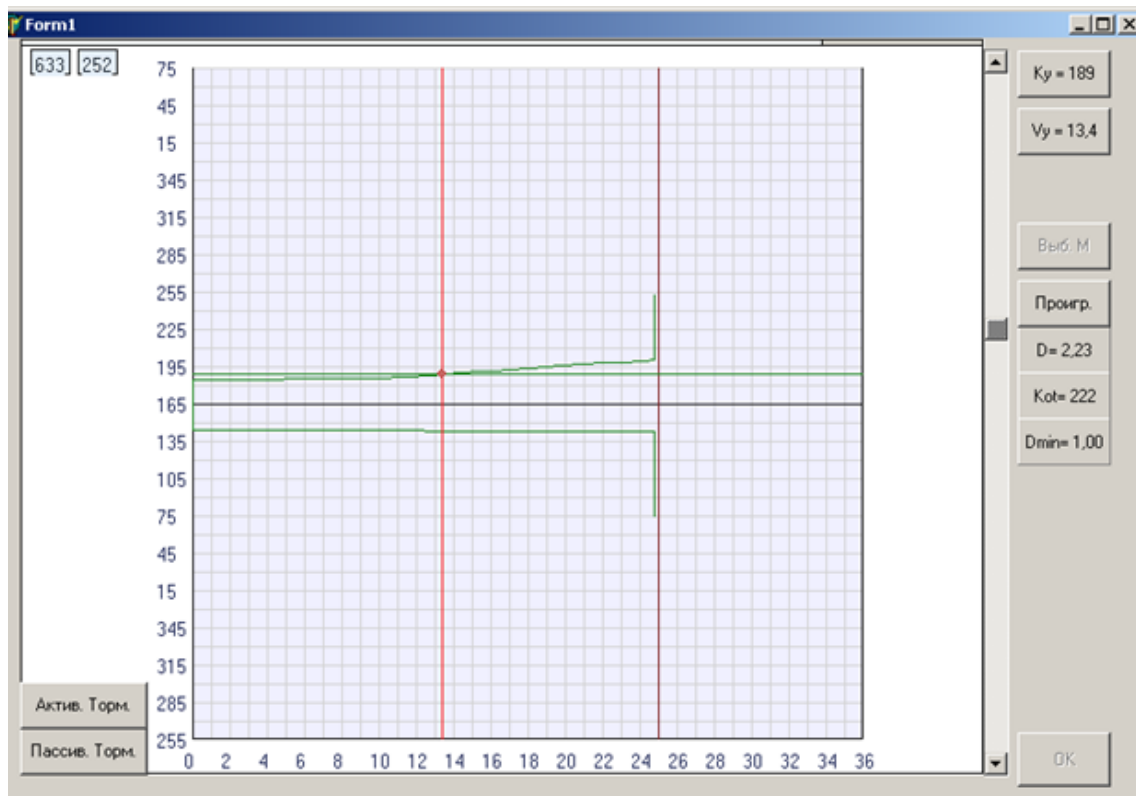


Рис. 5.64. Вибір маневру розходження зміною курсу і швидкості

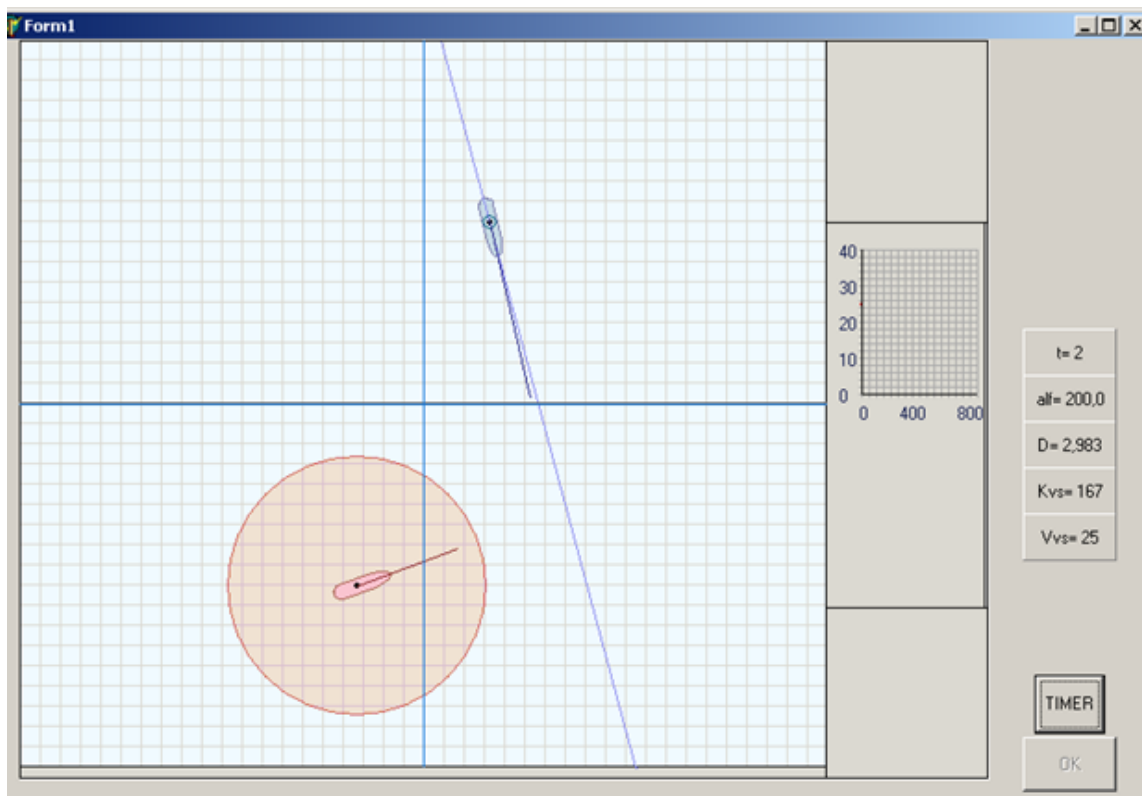


Рис. 5.65. Початок повороту судна на курс ухилення 189°

189° (рис. 5.66) і починає знижувати швидкість пасивним гальмуванням не змінюючи курсу.

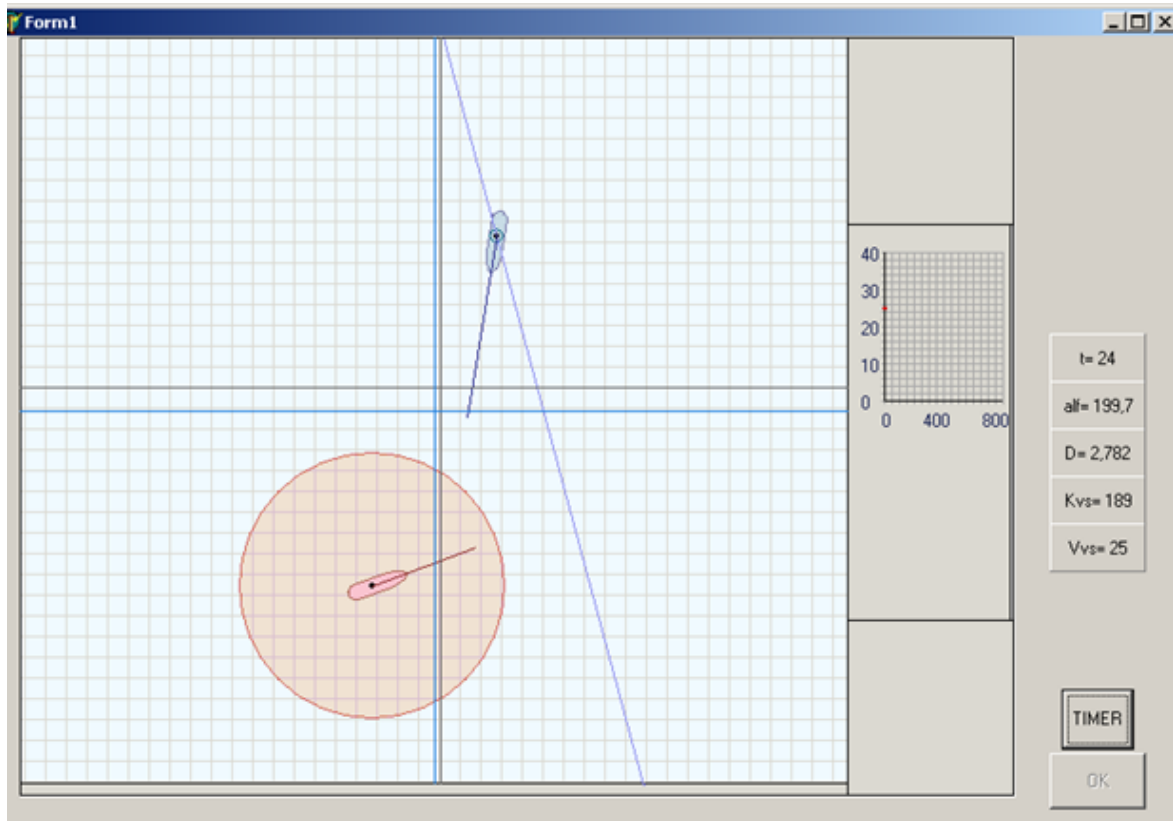


Рис. 5.66. Завершення повороту судна на курс ухилення

Пасивне гальмування судна триває до 128 с, поки його швидкість не впаде до вибраного значення 13,4 вузли, що відображено на рис. 5.67. Далі зближення судна і цілі відбувається на постійних швидкостях, і у момент часів 369 с процесу розходження наступає їх найкоротше зближення на дистанції 1,008 м. м., що представлено на рис. 5.68, і є підтвердженням коректності розробленого способу вибору маневру розходження послідовними зміною курсу і зниження швидкості гальмуванням. На рис. 5.69 показане завершення процесу розходження, після якого судно може збільшувати швидкість до початкової і змінювати курс для виходу на програмну траєкторію руху.

Як впливає з трьох останніх прикладів розходження судна з ціллю, активним і пасивним гальмуванням, спосіб вибору безпечного

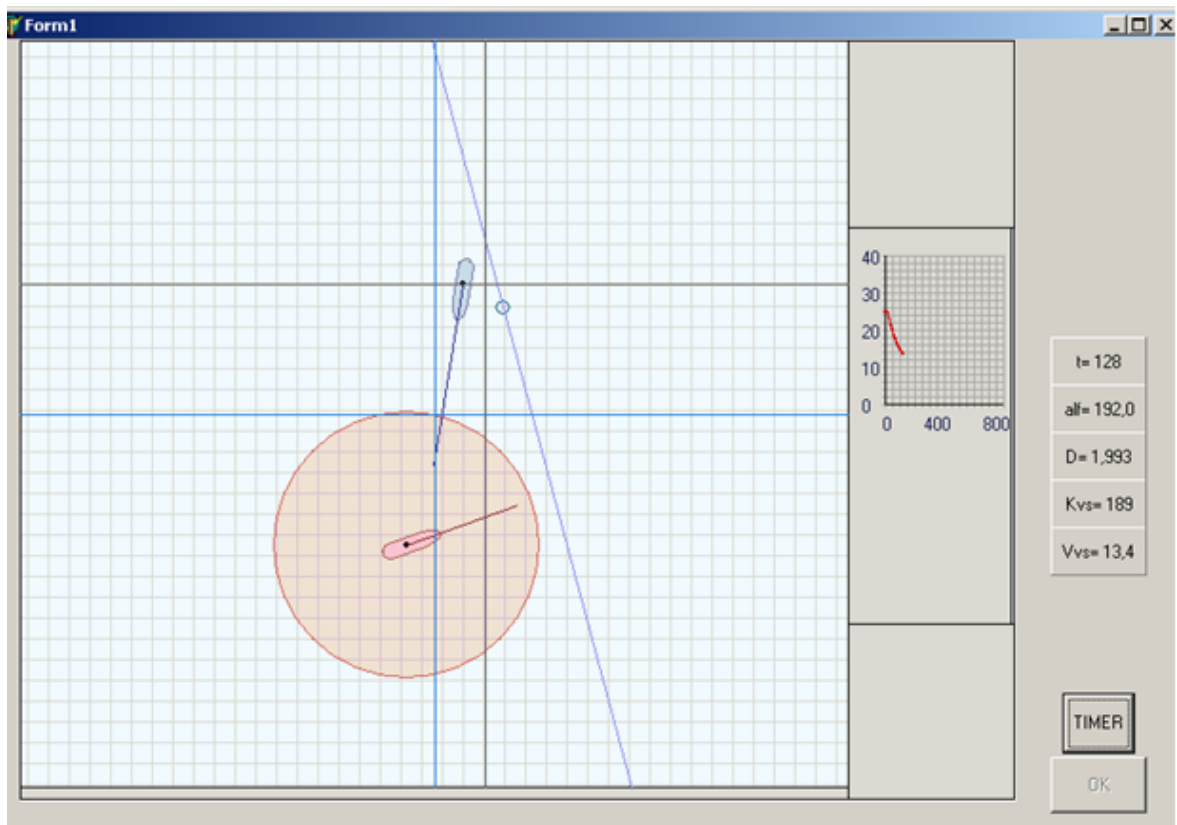


Рис. 5.67. Закінчення перехідного процесу зниження швидкості

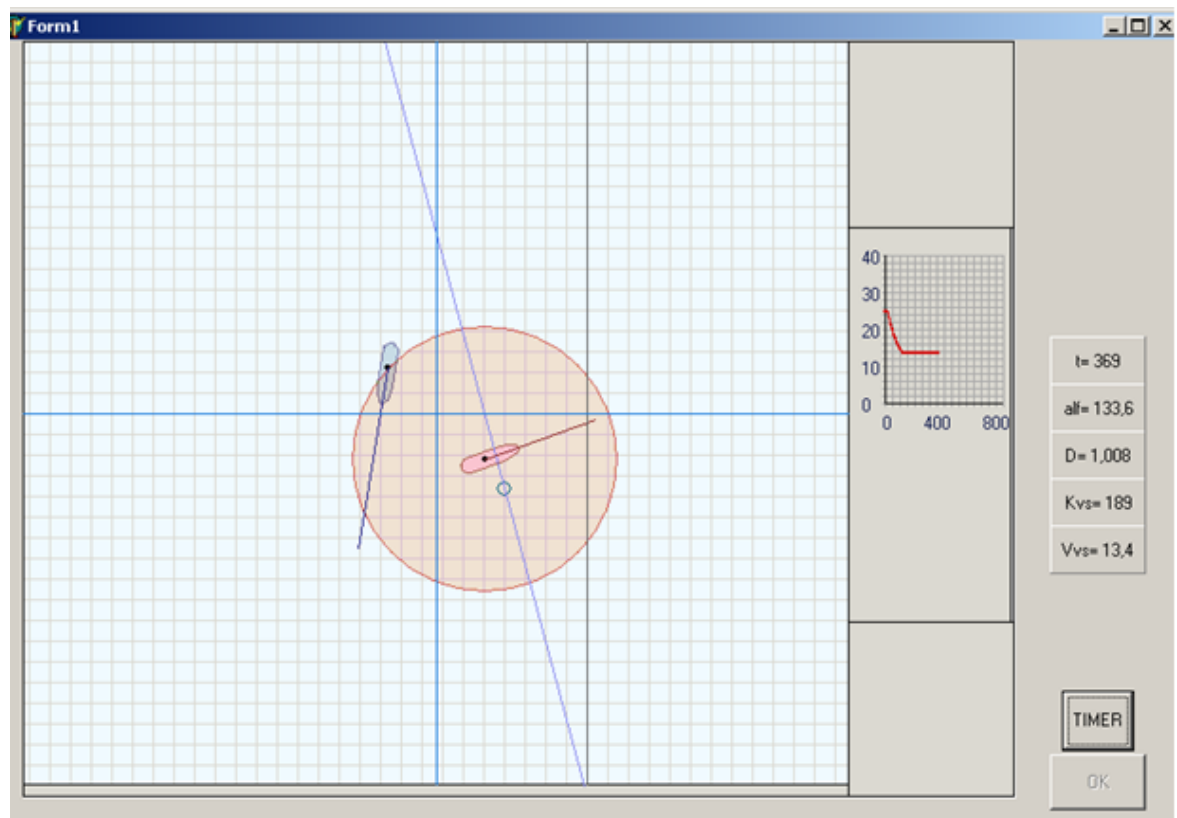


Рис. 5.68. Найкоротше зближення судна з ціллю

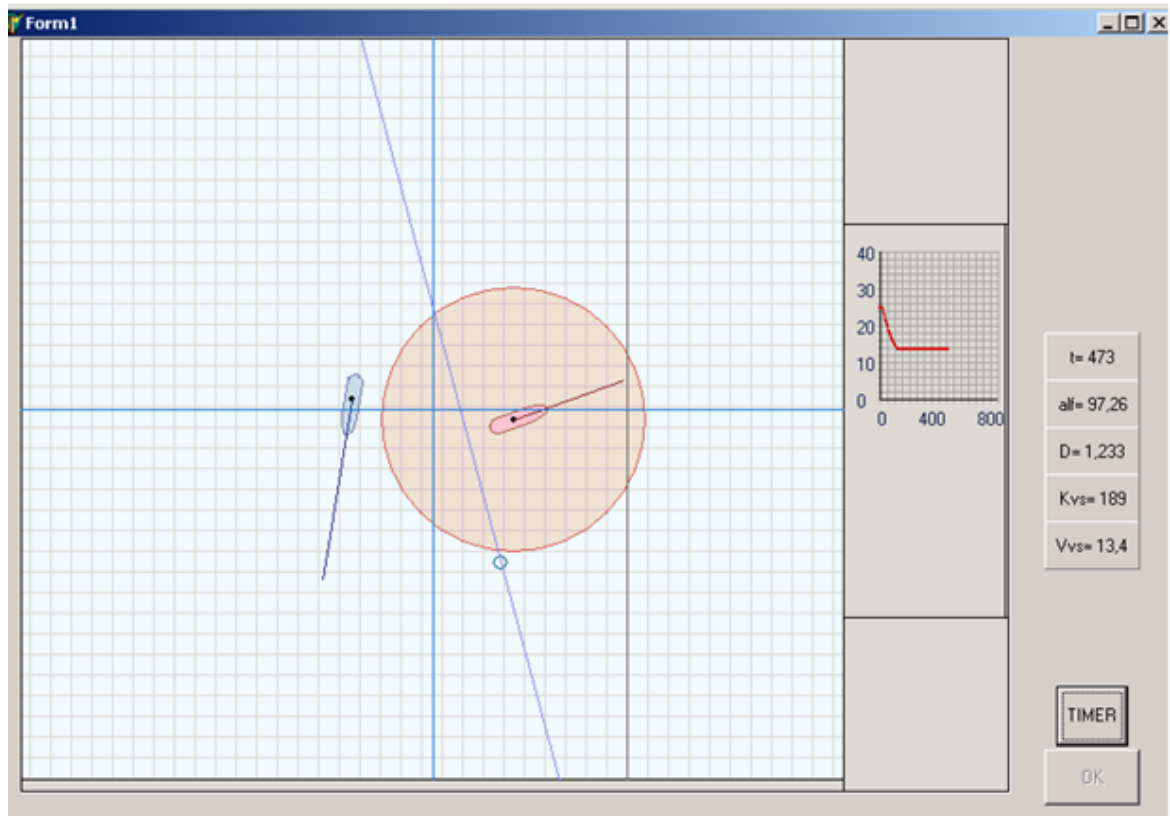


Рис. 5.69. Завершення маневру розходження

маневру оптимального розходження за допомогою неприпустимої області Θ_{dv} швидкостей гальмування є коректним, так як при програванні маневру розходження його параметри співпадають з розрахованими значеннями пропонуваним способом, в першу чергу значення дистанції найкоротшого зближення.

5.3. Висновки по п'ятому розділу.

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

Розроблена імітаційна програма містить три основні модулі:

- модуль формування початкової ситуації небезпечного зближення судна з ціллю;
- модуль формування областей неприпустимих параметрів руху судна і вибору безпечних маневрів розходження з їх допомогою;
- модуль програвання вибраного маневру розходження зміною курсу або зниженням швидкості активним або пасивним гальмуванням.

Першим модулем генерується ситуація небезпечного зближення судна з ціллю шляхом введення користувачем її параметрів і одержання відповідного значення дистанції найкоротшого зближення. Другим модулем для початкової ситуації небезпечного зближення формується область небезпечних параметрів руху судна з урахуванням співвідношення незмінних швидкостей судна і цілі, а при необхідності використовується маневр розходження зниженням швидкості активним або пасивним гальмуванням і виводиться графічне зображення області небезпечних швидкостей при гальмуванні з вказівкою можливості проведення маневру розходження гальмуванням, причому при позитивному результаті виводиться оптимальне значення швидкості розходження з урахуванням режиму гальмування судна. У разі потреби є можливість вибору маневру послідовної зміни курсу, після чого проводиться зниження швидкості активним або пасивним гальмуванням.

Після вибору безпечного маневру розходження зміною курсу або/і зниження швидкості судна за допомогою третього модуля імітаційної програми проводиться програвання маневру розходження, при якому виводиться інформація про поточні значення параметрів процесу розходження судна з ціллю.

При програванні маневру відбувається анімаційне відображення процесу розходження судна з ціллю. Шляхом аналізу процесу розходження і значень його параметрів робиться висновок про коректність вибраних маневрів розходження судна. Представлені в даному розділі результати програвання маневрів розходження у ряді ситуацій небезпечного зближення показують коректність запропонованого способу вибору маневру розходження судна зміною

курсу або швидкості за допомогою областей неприпустимих параметрів руху судна.

ВИСНОВКИ

1. Оцінка стану питання. Однією з найважливіших проблем безпеки мореплавання є проблема підвищення безаварійності судноводіння, оскільки її успішне рішення веде до зниження шкоди людському життю, навколишньому середовищу, майну і виробничим процесам.

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

2. Формулювання вирішеної наукової задачі, її значення для науки і практики. В результаті вирішення головної наукової задачі отримано новий метод вибору безпечного маневру розходження суден при локально-незалежному управлінні, що реалізований в комп'ютерній програмі, і який відрізняється застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна.

При вирішенні головної задачі, в роботі отримані рішення трьох складових задач у вигляді наукових результатів, що містять наукову новизну:

- вперше розроблено спосіб вибору маневру розходження зміною курсу застосуванням області неприпустимих значень параметрів руху судна;
- вперше запропоновано спосіб формування розширеної області неприпустимих значень параметрів руху судна;

– вперше отримана процедура комп'ютерного відображення області неприпустимих значень параметрів і вибору маневру розходження.

Практична значимість роботи визначається тим, що її основні результати можуть бути використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом розходження судна.

3. Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Основні теоретичні і практичні результати, отримані в дисертації, можуть бути використані при експлуатації суден, а також в процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісним показником результатів дисертаційної роботи є можливість оперативного і коректного вибору маневру розходження судна за допомогою запропонованих способів використання областей неприпустимих значень параметрів руху судна, які, як показало імітаційне моделювання, мають високу ефективність.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів.

Достовірність результатів роботи підтверджуються коректною розробкою і застосуванням математичних моделей, а також імітаційним моделюванням, виконаним за допомогою розроблених комп'ютерних програм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна/ Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. - Одесса: Латстар, 2002. - 310 с.
2. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
3. Першиц Р.Я. Управляемость и управление судном / Першиц Р.Я. - Л.: Судостроение, 1983.- 272 с.
4. Демин С.И. Торможение судна / Демин С.И.– М.: Транспорт, 1975.– 81с.
5. Демин С.И. Аналитический метод определения элементов торможения судов / Демин С.И. // Экспресс-информация ЦБНТИ ММФ, серия «Судовождение и связь».– 1980. – № 3 (128). – С. 21-33.
6. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
7. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
8. Мальцев А. С. Управление движением судна / Мальцев А. С. – Одесса: Весть, 1995.- 230 с.
9. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / Кондрашихин В.Т. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
10. Кондрашихин В.Т. О погрешностях измерений/ Кондрашихин В.Т. // Геодезия и картография.– 1977. – № 5. – С. 11-16.
11. Кондрашихин В.Т. Определение наиболее вероятного значения повторяющейся ошибки / Кондрашихин В.Т., Якшевич Е.В. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1972. – Вып. 157. – С. 42-49.
12. Кондрашихин В.Т. Зависимость между точностью и надежностью навигации / Кондрашихин В.Т. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1973. – Вып. 173. – С. 41-49.

13. Широков В. М. Распределение погрешностей обсервации при использовании методов корреляционной навигации / Широков В. М. // Судовождение. - 2003. - № 6. - С. 154-158.
14. Широков В. М. Результаты имитационного моделирования обсерваций судна в стесненных условиях / Широков В. М. // Судовождение. - 2004. - № 8. - С. 103 – 107.
15. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана / Сорокин А.И. - Л.: Гидрометиздат, 1980. - 287 с.
16. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. - Vol. 32.- № 3. - P. 426 - 429.
17. Мельник Е.Ф. Приближенное описание смешанных распределений погрешностей навигационных измерений / Мельник Е.Ф. // Автоматизация судовых технических средств: науч. –техн. сб. - 2002. - Вып. 7.- Одесса: ОГ-МА. - С. 96 – 100.
18. Мудров В.М. Методы обработки измерений / Мудров В.М., Кушко В.Л. - М.: Советское радио, 1976. 192 с.
19. В.В. Степаненко. Эффективность оценки параметров ситуации опасного сближения судов/ В.В. Степаненко. // Судовождение: Сб. науч. трудов / ОГ-МА. - Вып. 2 – Одесса: Латстар, 2000. - С. 201 – 209.
20. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения:-Т.2. / Феллер В. - М.: Мир,1984.-751 с.
21. Ткаченко А.С. Применение обобщенных пуассоновских распределений для описания навигационных погрешностей / Ткаченко А.С., Алексишин В.Г. // Судовождение. - 2008. - № 15. - С. 93 – 99.
22. 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.
23. 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.

24. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.
25. 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, с. 192-194.
26. Pettersen Kristin Y. Underactuated dynamic positioning of a ship - experimental results / Pettersen Kristin Y., Fossen Thor I. // IEEE Trans. Contr. Syst. Technol. - 2000. - 8, № 5. - P. 856-863.
27. 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.
28. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Мельник Е.Ф. // Судовождение. - 2002. - № 5. - С. 65 - 73.
29. Kubo Masayoshi. Research of method of calculation of probability of collision of ship with the rectangular bull of bridge at tearing down by wind and flow / Kubo Masayoshi, Sakakibara Shigeki, Hasegawa Yoshimi, Nagaoka Tadao. // Nihon kokai gakkai ronbunshu -J. Jap. Inst. Navig. - 2001. - 104/ - P. 225-233.
30. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. - Saarbrücken, Deutschland/ Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. - 274 с.
31. Чапчай Е.П. Экспериментальное исследование моделей поворотливости судна / Чапчай Е.П. // Судовождение. - 2006. - № 11. - С. 139 - 142.
32. Чапчай Е.П. Учет времени перекладки пера руля при повороте судна/ Чапчай Е.П. // Судовождение. - 2005. - № 9. - С. 110 - 113.
33. Стебновский О.В. Формирование переходной траектории поворота судна / Стебновский О.В.// Автоматизация судовых технических средств. - 2010. - № 16. - С.92-95.

34. Вагущенко Л.Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности / Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко С.И - Одесса: Феникс, 2005. - 274 с.
35. Лукомский Ю.А. Общие закономерности и специфические особенности в математических моделях морских подвижных объектов/ Лукомский Ю. А., Стариченков А. Л. // Гироскопия и навигация. - 1997. - № 2. - С. 44-52.
36. Шпекторов А.Г. Организация двухуровневой системы управления движением скоростного судна./ Шпекторов А.Г., Тхань ,Тунг Ле.: Навигация и управление движением: Материалы 8 Конференции молодых ученых: 1 этап, Санкт-Петербург, Ц-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. 125-130.
37. 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.
38. 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, page 105-110, 2009.
39. Богданов В. П. Синергетика и нейросетевые системы управления курсом судна / Богданов В. П., Виткалов Я. Л., Глушков С. В., Потапов А. С. и др. - Питер. - 2006, 205 с.
40. Оськин Д.А. Система управления морским судном с использованием нейросетевой идентификационной модели / Оськин Д.А. // Вестн. Мор. гос. ун-та. 2008, № 27, с. 3-12.
41. Глушков С.В. Использование нечеткой логики в системе автоматического управления курсом судна /Глушков С.В.// Приборы и системы: Упр., контроль, диагност. 2007, № 8, с. 28-32.
42. Дмитриев С.П. Обоснование возможности использования линейно-квадратичного подхода при стабилизации судна на траекто-

рии/Дмитриев С.П., Пелевин А.Е. // Гироскопия и навигация. - 1997. - № 4. - С. 65-82.

43. Лентарёв А. А. Статистическое моделирование движения судов по фарватеру /Лентарёв А. А., У Льюков А. Ю. //Вестн. Мор. гос. ун-та. 2005, № 9, с. 78-83.

44. K. Benedict. Simulation Augmented Manoeuvring 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.

45. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы/ Вагущенко Л.Л. - Одесса: Феникс, 2004. - 302 с.

46. Юдин Ю.И. Маневренные характеристики судна как функции параметров его математической модели / Юдин Ю. И., Позняков С. И.// Вестн. МГТУ (Мурманск). 2006. 9, № 2, с. 234-240.

47. 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.

48. M. Ljacki. Intelligent Prediction of Ship Maneuvering / M. Ljacki // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 10, № 3, page 511-516, 2016.

49. Laeki Toshio. Ninon kokai dakkar ronbunshu / Laeki Toshio // Jap. Inst. Navig. 2005. 112, p. 301-306.

50. 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.

51. Ahmed Y.A. Consistently Trained Artificial Neural Network for Automatic Ship Berthing Control/ Ahmed Y.A., Hasegawa K. // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 3, page 417-426, 2015.

52. Artyszuk J. Inherent Properties of Ship Manoeuvring Linear Models in View of the Full-mission Model Adjustment/Artyszuk J.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 10, No. 4, page 595-604, 2016.

53. Zhu M. Parameter Identification of Ship Maneuvering Models Using Recursive Least Square Method Based on Support Vector Machines/Zhu M., Hahn A., Wen Y.Q., Bolles A.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 1, page 23-29, 2017.

54. 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.

55. 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.

56. Георгизон Е. Б. Сравнительный анализ алгоритмов расхождения судов / Георгизон Е. Б., Цаллагов Х.-Б. Н.// Теоретические вопросы построения АСУ крупнотоннажными транспортными судами. - М.: Наука, 1978. - С. 93-101.

57. Цаллагов Х.-Б.Н. Безопасное расхождение судов при централизованном автоматизированном управлении / Цаллагов Х.-Б.Н.// Задачи автоматизации управления движением судов в районах интенсивного судоходства. - М.: Ин-т Проблем Управления, 1983. - С. 29-39.

58. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / Куликов А. М., Поддубный В. В. // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.

59. Фрейдзон И. Р. Моделирование корабельных систем управления / Фрейдзон И. Р. – Л.: Судостроение, 1975. - 232 с.
60. Кудряшов В. Е. Математическая модель процесса расхождения нескольких управляемых объектов / Кудряшов В. Е. // Известия ЛЭТИ. - 1976. - № 206. - С. 15-19.
61. Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / Кудряшов В. Е. // Судостроение. – 1978.- №5. – С. 35-40.
62. Lisovski I. A Differential Game Model of Ship Control Process/ Lisovski I. //Link. Sei. and Appl. Automat. Contr. – Helsinky. – 1978, - Vol.2.- P.1557-1603.
63. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем/ Павлов В.В. - Киев: Наукова думка, 1975. - 240 с.
64. Павлов В.В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления/ Павлов В.В. - Киев: Наукова думка, 1971. - 272 с.
65. 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.
66. 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.
67. Цымбал Н.Н. Перспективные системы предупреждения столкновений судов и принципы их разработки /Цымбал Н.Н.// Материалы I международной научно-практической конференции «Науковий потенціал світу 2004». – том 60. – Днепропетровск. – Наука і освіта, 2004. - С. 44-45.
68. Цымбал Н.Н. Перспективы использования современных технических средств для управления судами в стесненных условиях плавания / Цымбал Н.Н.// V Международная научно-техническая конференция «Гиротехнологии, навигация и управление движением». – Сборник докладов. – Киев. – 2005. – С. 301-304.

69. Цымбал Н.Н. Метод формирования множества безопасных маневров расхождения судов / Цымбал Н.Н. // Тезисы докладов на III международной научно-технической конференции «Живучесть корабля и безопасность на море». – Севастополь. – 2005. – С. 91-94.
70. Цымбал Н.Н. Учет ограничений МППСС-72 при выборе маневра расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бужбецкий Р.Ю. // Судовождение. – 2006. – № 11. – С.134 – 138.
71. Мальцев А.С. Выбор оптимального курса для расхождения судов при криволинейном движении / Мальцев А.С., Май Ба Линь // Судовождение. – №7. – 2004. – С. 47-57.
72. Сафин И. В. Условия существования безопасных маневров расхождения / Сафин И. В. // Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 158 – 163.
73. Сафин И.В. Расчет граничных значений параметров множества допустимых маневров расхождения / Сафин И.В. // Судовождение. - №4. - 2002. – С. 95 – 100.
74. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / Сафин И.В. // Автоматизация судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.
75. Сафин И.В. Анализ результатов имитационного моделирования процесса расхождения судов / Сафин И.В. // Судовождение. - №6 - 2003. – С. 122-129.
76. Сафин И.В. Оптимизация маневров для безопасного расхождения судов: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.16 «Судовождение»/ Сафин И.В. – Одесса, 2004.–23 с.
77. Бурмака И.А. Учет динамики судна при выборе маневра расхождения / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2002. - №4. – С. 32- 36.
78. Бурмака И.А. Расчет длительности поворота судна при расхождении / Бурмака И.А. // Автоматизация судовых технических средств. - 2002. - №7. - С. 3- 6.
79. Бурмака И.А. Учет инерционности судна при расчете момента времени завершения маневра расхождения / Бурмака И.А. // Судовождение. - № 5. - 2002. – С. 13 – 21.

80. Бурмака И.А. Применение численных методов для расчета времени начала уклонения судна при расхождении / Бурмака И.А. // Судовождение. - 2003. - № 6. – С. 27-31.
81. Бурмака И.А. Безопасное расхождение судов с учетом их инерционности: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.16 «Судовождение» / Бурмака И.А.– Одесса, 2004. – 22 с.
82. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. - №10. – С. 21 – 25.
83. Бурмака И.А. Расчет характеристик поворотливости судна по экспериментальным данным / Бурмака И.А. // Судовождение. - 2005. - № 9. - С. 7-13.
84. Бинай Кумар Синх. Области взаимных обязанностей судов / Бинай Кумар Синх // Судовождение. - 2000. - № 2. - С. 121 – 125.
85. Бинай Кумар Синх. Выбор предельно-допустимой дистанции кратчайшего сближения / Бинай Кумар Синх // Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 38 – 42.
86. Степаненко В. В. Формализация контроля текущей ситуации и принятия решений по управлению ею / Степаненко В. В.// Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 177– 185.
87. Степаненко В.В. К вопросу отображения ситуации расхождения судов / Степаненко В.В. // Судовождение. - № 4. - 2002. – С. 101 – 106.
88. Петриченко Е.А. Описание навигационных опасностей в задаче расхождения судов / Петриченко Е.А. // Судовождение. - 2002. - №5. – С. 89- 95.
89. Петриченко Е.А. Учет линейной навигационной опасности при расхождении судов / Петриченко Е.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2003. – №8. – С. 72-76.
90. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103-107.
91. Сазонов А. Е. Автоматизация судовождения / Сазонов А. Е., Родионов А. А. - М.: Транспорт, 1977. 208 с.

92. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
93. 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.
94. Бурмака И.А. Определение параметров динамической модели поворотливости судна по натурным наблюдениям / Бурмака И.А., Бурмака А.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 19. – Одесса: Феникс, 2011 - С. 24-27.
95. Бурмака А.И. Разработка стратегии расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения / Бурмака А.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 20. – Одесса: «ИздатИнформ», 2012 – С. 32-35.
96. Бурмака А.И. Учет угловой скорости судна при расчете параметров маневра расхождения в ситуации чрезмерного сближения/ Бурмака А.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 21. – Одесса: «ИздатИнформ», 2012 - С. 38-41.
97. 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.
98. Hung Iran Viet. Nihon kokai gakkai ronbunshu / Hung Iran Viet, Hagiwara Hideki, Tamaru Hitoi. // J. Jap. Inst. Navig. 2007. 117, с 35—42.
99. Якушев, А. О. Зависимость размеров судовой безопасной области от плотности распределения вероятностей позиционной погрешностей / А.О. Якушев [Текст] // Водный транспорт. – 2014. - №2 (20).– С. 84 – 88.
100. Якушев, А. О. Выбор формы безопасной области, обеспечивающей минимальное отклонение судна при расхождении [Текст] / А.О. Якушев, Э.Н. Пятаков // Автоматизация судовых технических средств. – 2015. – № 21. – С. 77 – 81.
101. 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.

102. Волков А.Н. Отображение зоны безопасности судна на электронной карте // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «Изда-тИнформ», 2013, – С 40 - 45.

103. Волков А.Н. Формирование безопасной области в судовых системах навигационной информации / Волков А.Н. // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2013. № 4. – С 52 - 56.

104. 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.

105. 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.

106. 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.

107. 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.

108. 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.

109. 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.

110. 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.

111. Kimura Masafumi. Nihon kokai gakkai ronbunshu / Kimura Masafumi, Suzuki Saburo // J. Jap. Inst. Navig. 2005. 112, p. 43-48.
112. Liu Yu-hong. Zhongguo hanghai/ Liu Yu-hong, Hu Shen-ping // Navig. China. 2005, №4, p. 40-45.
113. 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.
114. L. Yongqing. Wuhan ligong daxue xuebao. Jiaotong kexue yu gongcheng ban/ L. Yongqing // J. Wuhan Univ. Technol. Transp. Sci. and Eng. 2004. 28, №5, p. 752-754.
115. 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.
116. 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.
117. 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.
118. Булгаков А.Ю. Выбор маневра расхождения судов изменением курсов в системах управления движением судов/ Булгаков А.Ю., Пятаков Э.Н.// Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014. №4 . – С 153 - 164.
119. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / Булгаков А.Ю., Алексейчук Б.М.// Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014. №1 . – С. 75 - 81.
120. Бурмака И.А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов/ Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Автоматизация судовых технических средств. – 2014. – № 20. – С. 18 – 23.

121. 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.
122. Бурмака И. А. Определение допустимого множества маневров расхождения судов изменением скоростей / Бурмака И. А., Кулаков М.А., Калиниченко Г.М. //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. 21–23.
123. Громов Г.Н. Дифференциально – геометрический метод навигации./ Громов Г.Н. –М.: Радио и связь, 1986. 384 с.
124. Якушенков А. А. Автоматизация судовождения./ Якушенков А. А. - М.: Транспорт, 1967, -.364 с.
125. Месарович М. Теория иерархических много уравневых систем/ Месарович М., Мако Д., Такахара И. - М.: Мир, 1973. -. 344 с.
126. Вагущенко Л.Л. Автоматизация судовождения/ Вагущенко Л.Л. - Одесса: 1994, 354 с.
- 127.Якушенков А. А. Новые технические средства судовождения / Якушенков А. А. - М.: Транспорт, 1973, 263 с.
128. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов/ Новицкий П.В., Зограф И.А.- Л.: Энергоатомиздат, 1985, 248 с.
129. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем/ Дружинин Г.В. - М.: Энергия, 1977, 536 с.
130. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику/ У. Росс Эшби. - М.: Мир, 1959. – 256 с.
131. Чапчай, Е.П. Экспериментальное исследование моделей поворотливости судна / Е.П. Чапчай // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. – 2006. – Вып.11. - С. 139 – 142.

132. 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.
133. Волков Е.Л. Оперативный способ предупреждения столкновения судов с помощью области недопустимых параметров движения/ Волков Е.Л. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 21-24.
134. 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.
135. Пятаков Э.Н. Синтез системы бинарной координации при расхождении судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 4 (38). – С. 23 - 29.
136. Волков Е.Л. Определение значения ситуационного возмущения с помощью графической диаграммы/ Волков Е.Л.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали ІХ Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 98–101.
137. Пятаков Э. Н. Разработка системы координации трех судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 139–141.
138. Копанский С.В. Графический способ оценки значения ситуационного возмущения/ Копанский С.В., Волков Е.Л. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 57-62.

139. Пятаков Э.Н. Координация безопасного расхождения трех судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 185-193.
140. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения с учетом требований системы координации взаимодействующих судов/ Пятаков Э.Н., Волков Е.Л. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17-18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 27–29.
141. Волков Е.Л. Применение области недопустимых параметров движения для предупреждения столкновения судов / Волков Е.Л., Омельченко Т.Ю. // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 44-49.
142. Волков Е. Л. Безопасное расхождение судов маневром уклонения/ Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : ОНМА, 2017. – С. 137 - 140.
143. Волков Е. Л. Использование областей недопустимых значений параметров движения судна при локально-независимом управлении процессом расхождения/ Волков Е. Л. // East European Science Journal (Warsaw, Poland) # 11 (27), 2017 part 1. – С. 15-24
144. Волков Е.Л. Маневр расхождения судна снижением скорости активным торможением / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 148, 2017.- С. 98 - 101.

ДОДАТОК А

ФРАГМЕНТ ЛІСТИНГУ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ БЕЗПЕЧНОГО
МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ

```
unit Progect_Un;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Image1: TImage;
    Timer1: TTimer;
    Button2: TButton;
    Button1: TButton;
    ScrollBar1: TScrollBar;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    Panel1: TPanel;
    Panel2: TPanel;
    Panel3: TPanel;
    Panel4: TPanel;
    Panel5: TPanel;
    Panel6: TPanel;
    Panel7: TPanel;
    Panel8: TPanel;
    Panel9: TPanel;
    Panel10: TPanel;
    Panel11: TPanel;
    Panel12: TPanel;
    Panel13: TPanel;
    Panel14: TPanel;
    Panel15: TPanel;
    Panel16: TPanel;
    Panel17: TPanel;
    Panel18: TPanel;
    Panel19: TPanel;
    Panel20: TPanel;
    Panel21: TPanel;
    Panel22: TPanel;
    Panel23: TPanel;
```

```

Button7: TButton;
Button8: TButton;
Button9: TButton;
Button10: TButton;
Button11: TButton;
Button12: TButton;
Button13: TButton;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure FormDestroy(Sender: TObject);
procedure Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure ScrollBar1Scroll(Sender: TObject; ScrollCode: TScrollCode;
  var ScrollPos: Integer);
procedure Image1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure Panel20Click(Sender: TObject);
procedure Panel21Click(Sender: TObject);
procedure Panel22Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
procedure Button13Click(Sender: TObject);
procedure Button12Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

type
Pt = array[1..360] of TPoint;
Pt1 = array[1..720] of TPoint;

PtC = array[0..120] of TPoint;
APt = array[0..30] of TPoint;
BPt = array[1..180] of TPoint;

var
  Form1: TForm1;
  ShowBmp,CargoBmp,CopyBmp,VBmp,SBmp : TBitmap;

  Lh,Bh,Hh,Lp,Bp,Hp,B1,H1,B2,H2 : word;

  IndCrt,Nbt,Nbto,Nbto,OkBtn,Okbtn1,OkTimer,IndAutom,IndVrt,IndManl,

```

IndWht,IndVol,IndVvod,OkOkVvod,IndX,IndY,IndZ,Indn : byte;
 {IndB,IndE,IndU,IndD : byte;}
 Nbrng,Nrngmax,Ay,s,NvrBtn,NbtVvod,OkOk,OkWht,OkVol,OkVvod,OkScroll : byte;
 IndK,IndV,IndA,IndD,IndDm : byte;
 {Yc,}Yc1 : word;

CargoTyp,CargoCol : array[1..190] of byte;

CargOk,HorizOk,AutomOk,Ok,StrsOk,CorrOk,ShowOk,RangOk,TwoBtOk,
 OkBbtn1,OkBbtn2 : byte;
 AutomChen,LimPl,LimW,LimV : Integer;

OkLim,IndLim,NbtLim,PrLdLim,WhtLim,VolLim,Lim1,Lim2,Lim3 : byte;
 Begdop,Bd1,Bd2,Whtdop,Wd1,Wd2,Bdo1,Bdo2 : word;
 Enddop,Ed1,Ed2,Edo1,Edo2,Updop,Ud1,Ud2,Udo1,Udo2 : word;
 ClassCargoTyp,ColTyp,TypCargo : byte;

CargoName,CargoLab1,CargoLab2,CargoLab3 : string[20];
 CargoWight : LongInt;
 CargoSize1,CargoSize2,CargoSize3,Npr,V1,V2,V3,V4,V5,Nc,dN,Mnx,Mny : word;
 Xcn,Ycn,K1,K2,K21,K3,K4,K5,K1n,K2n,K3n,K4n,K5n,K1sc,K2sc,K3sc,Ky : Integer;
 Kot,Kot1,Kot2,Vot,Lm,alf,D,Dd,alf12,alf13,alf14,alf15,alf23,alf24,alf34 : real;
 alf25,alf35,alf45,Lm1,Lm2,Lm3,Lm4,alf0,D0 : real;
 D12,D13,D14,D15,D23,D24,D34,D25,D35,D45,K11t,K12t,K11ta,K12ta,K21t,K22t : real;

Nves,IndOK,IndVes,IndScroll : byte;
 Re,ReV{,Coordt,CoordAt} : PtC;
 Rel : APt;
 Bv,L1,L2,Lv,IndTimer,IndCol,Nb,IndS,IndAv,IndKm1,IndKm2,IndKm3 : byte;
 Xt,Yt,Xvs,Yvs,X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,X4,Y4,X5,Y5,Xn,Yn,Yt1,Yt2 : Integer;
 Dmin12,Dmin13,Dmin14,Dmin15,Dmin23,Dmin24,Dmin25,Dmin34,Dmin35,Dmin45 : real;
 DK1,DK2,DK3,DKm,K1m,K2m,K3m,DKs,K3l,DK1m,DK2m,DK3m,Mn1x,Mn1y : word;
 Msx,Msy,Mslx,Mslly,Xmd1,Ymd1,Xt1,Nbg,Rsv : word;
 IndBeg,Voz,IndSit,IndShow,StopTimer,IndTr,IndMana,IndManp,IndCtr : byte;
 gam1,gam2,gam1l,gam2l,t,Xt0,Yt0,Xvs0,Yvs0,ty,IndChen,Kvs,cig,
 X1gr,Y1gr,X2gr,Y2gr,DK,Kv,Kyp,DKp : Integer;
 tk,tauk : real;
 Dmx,Dmn,Xtt,Ytt,Xvst,Yvst,Xc,Yc,Disn,alfn,aw,tn,Xvo,Yvo,tv,tau,tauv : real;
 Qa,Qp,Vyp,tmin : word;
 taua,Sa,taup,Sp,M,myu,Pm,taun,Vy,Kvsr,Dtp : real;
 Grf : BPt;
 Regim,IndFin,IndGrn : byte;

implementation

{ \$R *.DFM }

uses Unit_2D;

procedure MakeScale(Lh,Bh,Hh : word; var Lp,Bp,Hp : word; var Scale : real);

begin

```

if Hh/Bh<0.4674 then
  begin
    if Lh/Bh>1.2383 then
      Scale:=387{310}/Lh
    else
      Scale:=313{251}/Bh;
    end
  else
    begin
      if Lh/Hh>2.5984 then
        Scale:=387{310}/Lh
      else
        Scale:=147{118}/Hh;
      end;
    Lp:=Round(Lh*Scale); Bp:=Round(Bh*Scale); Hp:=Round(Hh*Scale);
  end;

```

```

procedure Coord(Lp,Bp,Hp : word; var Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2 : word);
begin
  Xn1:=202{162}-Round(Lp/2); Yn1:=162{130}-Round(Bp/2);
  Xk1:=202{162}+Round(Lp/2); Yk1:=162{130}+Round(Bp/2);
  Xn2:=565{452}-Round(Bp/2); Yn2:=400{320}-Round(Hp/2);
  Xk2:=565{452}+Round(Bp/2); Yk2:=400{320}+Round(Hp/2);
end;

```

```

procedure BLn(Bmp : TBitMap; Img : TImage;
  X,Y : Integer; BmpInd : byte);

```

```

var
  i : byte;

```

```

begin
  for i:=1 to 17 do
    begin
      ColorLine(Bmp,Img,X-18,Y-17+i,X+19,Y-17+i,RGB(170+5*i,100+6*i,80+7*i),1,BmpInd);
      ColorLine(Bmp,Img,X-18,Y+17-i,X+19,Y+17-i,RGB(170+5*i,100+6*i,80+7*i),1,BmpInd);
    end;
  end;

```

```

procedure Pct1(Bmp : TBitMap; Img : TImage; BmpInd : byte);

```

```

var
  i,j : byte;

```

```

begin
  for i:=0 to 2 do
    begin
      ColorRect(Bmp,Img,727,9+48*i,787,53+48*i,RGB(70,80,110),BmpInd);
    end;
  end;

```

```

    for j:=1 to 13 do
      ColorLine(Bmp,Img,728,9+48*i+j,786,9+48*i+j,RGB(30+8*j,40+8*j,70+8*j),1,BmpInd);
      ColorRect(Bmp,Img,729,29+48*i,785,49+48*i,RGB(200,220,240),BmpInd);
    end;
    ColorRect(Bmp,Img,665,6,725,151,RGB(120,130,160),BmpInd);
    for i:=0 to 2 do
      begin
        ColorRect(Bmp,Img,665,9+48*i,725,53+48*i,RGB(70,80,110),BmpInd);
        for j:=1 to 13 do
          ColorLine(Bmp,Img,666,9+48*i+j,724,9+48*i+j,RGB(30+8*j,40+8*j,70+8*j),1,BmpInd);
          ColorRect(Bmp,Img,667,29+48*i,723,49+48*i,RGB(200,220,240),BmpInd);
        end;
      end;
    end;

```

```

procedure Treug(Img : TImage; Ind,IndCol : byte);

```

```

  var
    CPnt : array[1..3] of TPoint;

  begin
    with Img.Canvas do
      begin
        if IndCol=0 then
          begin
            Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
            Brush.Color:=TColor(RGB(170,170,170));
          end
        else
          begin
            Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,50));
            Brush.Color:=TColor(RGB(100,100,100));
          end;
        if Ind=1 then
          begin
            CPnt[1].x:=769; CPnt[1].y:=502;
            CPnt[2].x:=789; CPnt[2].y:=502;
            CPnt[3].x:=779; CPnt[3].y:=487;
          end
        else
          begin
            CPnt[1].x:=769; CPnt[1].y:=527;
            CPnt[2].x:=789; CPnt[2].y:=527;
            CPnt[3].x:=779; CPnt[3].y:=542;
          end;

```

```

      Polygon(CPnt);
    end;
  end;

```

```

procedure DPaint(Bmp : TBitMap; Img : TImage);
  var

```

```

i : byte;

begin
with Img.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(220,200,180));

ColorRect(Bmp,Img,423+64*3,273,469+64*3,288,RGB(220,200,180),0);
ColorRect(Bmp,Img,423+64*4,273,469+64*4,288,RGB(220,200,180),0);

ColorRect(Bmp,Img,725,7,789,198,RGB(70,60,75),0);
for i:=1 to 94 do
ColorLine(Bmp,Img,726,7+2*i,788,7+2*i,RGB(20+2*i,20+2*i,25+2*i),1,0);

ColorRect(Bmp,Img,419,206,716,266,RGB(70,60,75),0);
for i:=1 to 29 do
ColorLine(Bmp,Img,420,205+2*i,715,205+2*i,RGB(80+4*i,70+4*i,85+4*i),1,0);
end;
end;

procedure Buttn(Bmp : TBitMap; Image : TImage; X,Y,dX,dY : word;
                R,G,B : byte);
var
i,dRu,dGu,dBu,dRd,dGd,dBd : byte;

begin
ColorRect(Bmp,Image,X-1,Y-1,X+dX+1,Y+dY+1,RGB(20,20,20),0);
ColorRect(Bmp,Image,X,Y,X+dX,Y+dY,RGB(R,G,B),0);
dRu:=Round((255-R)/4); dGu:=Round((255-G)/4); dBu:=Round((255-B)/4);
dRd:=Round((R-60)/4); dGd:=Round((G-60)/4); dBd:=Round((B-60)/4);

for i:=1 to 4 do
begin
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+i,X+dX-i,Y+i,RGB(255-dRu*i,255-dGu*i,255-dBu*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+i,X+i,Y+dY-i,RGB(255-dRu*i,255-dGu*i,255-dBu*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+i,Y+dY-1-i,X+dX-i,Y+dY-1-
i,RGB(60+dRd*i,60+dGd*i,60+dBd*i),1,0);
ColorLine(Bmp,Image,X+dX-1-i,Y+i,X+dX-1-i,Y+dY-1-
i,RGB(60+dRd*i,60+dGd*i,60+dBd*i),1,0);
end;
end;

function ArcSin (x:real) :real;
var
Ast :real;

begin
if Abs(x)>=0.9999999 then
begin
if x>0 then Ast:=90
else Ast :=-90;

```



```

    end
  else
    Ast := ArcTan(x/(Sqrt(1-Sqr(x))))*57.3;
    ArcSin := Ast;
  end;

```

```

function ArcCos(x:real) :real;
var
  Ac :real;

begin
  if x<>0 then
    begin
      Ac := ArcTan((Sqrt(1-Sqr(x)))/x)*57.3;
      if x>0 then ArcCos := Ac
      else ArcCos := 180-Ac;
    end
  else ArcCos:=90;
end;

```

```

function Pelg(x,y:real):real;
var C1,Aor,Aol:real;

begin
  if y<>0 then C1 := ArcTan(x/y)*57.3
  else
    begin
      if x>0 then C1:=90
      else C1:=270;
    end;
  if y>=0 then Aor :=360 + C1
  else Aor :=180 + C1;
  if Aor >=360 then Aol :=Aor - 360
  else Aol :=Aor;
  Pelg :=Aol;
end;

```

```

function Cour(x : Integer) : {real}Integer;

begin
  if x<0 then Cour:=360+x
  else
    begin
      if x>=360 then Cour:=x-360
      else Cour:=x;
    end;
  end;
end;

```

```

function Distn(x,y:real):real;

```

```
var Ds :real;
```

```
begin
Ds :=Sqrt(Sqr(x)+Sqr(y));
Distn :=Ds;
end;
```

```
procedure KotVot(Kv,Kb: Integer; Vv,Vb : real; var Kot,Vot : real);
```

```
label 1;
var
dVx,dVy,psi : real;
```

```
begin
dVx:=Vv*sin(Kv/57.3)-Vb*sin(Kb/57.3);
dVy:=Vv*cos(Kv/57.3)-Vb*cos(Kb/57.3);
```

```
Vot:=Sqrt(Sqr(dVx)+Sqr(dVy));
```

```
if Vot=0 then
```

```
begin
```

```
Kot:=0;
```

```
goto 1;
```

```
end;
```

```
psi:=ArcSin(dVx/Vot);
```

```
if dVy>0 then
```

```
begin
```

```
if dVx>0 then Kot:=psi
```

```
else Kot:=360+psi;
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
Kot:=180-psi;
```

```
end;
```

```
1 :end;
```

```
procedure ColorRectBor(Bmp : TBitMap; Img : TImage; Xn,Yn,Xk,Yk : word;
```

```
Color,Color1 : LongInt; BmpInd : Byte);
```

```
{label 1,2;}
```

```
begin
```

```
if BmpInd=1 then
```

```
begin
```

```
with Bmp.Canvas do
```

```
begin
```

```
Pen.Color:=TColor(Color1 {5,5,5});
```

```
Brush.Color:=TColor(Color);
```

```
Rectangle(Xn,Yn,Xk,Yk);
```

```
end;
```

```
end
```

```
else
```

```

begin
with Img.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(Color1 {5,5,5});
Brush.Color:=TColor(Color);
Rectangle(Xn,Yn,Xk,Yk);
end;
end;
end;

```

```

procedure Region(Bmp : TBitMap; Image1 : TImage; V1,V2 : word;
alf: real; Gr,Gr1 : Pt; Grs : Pt1);
label 1,2;
var Nb,Ne,Ncn,gam1,gam2,K2o,i,dN,K11o,K11,Ncno,No : word;
begin
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 V2>V1 then
begin
Ncn:=0;
gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));

Nb:=Round(gam1+180-Arcsin(V1/V2)); Ne:=Round(gam1+Arcsin(V1/V2));

if Nb<Ne then dN:=Ne-Nb
else dN:=360-(Nb-Ne);

for i:=0 to dN do
begin
K2o:=Round(gam1+180-Arcsin(V1/V2))+i;
K2:=Cour(K2o);
if (K2-gam1>180+Arcsin(V1/V2)) and (K2-gam1<360-Arcsin(V1/V2)) then goto 1;
K11o:=Round(gam1+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam1)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
Ncn:=Ncn+1;
Gr[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
Gr[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
{Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);}
Grs[Ncn].x:=Gr[i].x;
Grs[Ncn].y:=Gr[i].y;

```

```

end;

1: end;

for i:=Ncn to 360 do
begin
Gr[i].x:=Gr[Ncn].x;
Gr[i].y:=Gr[Ncn].y;
end;

Grs[Ncn+1]:=Grs[Ncn];

Nb:=Round(gam2+180-Arcsin(V1/V2)); Ne:=Round(gam2+Arcsin(V1/V2));

if Nb<Ne then dN:=Ne-Nb
else dN:=360-(Nb-Ne);

Ncno:=0;

for i:=0 to dN do
begin
K2o:=Round(gam2+180-Arcsin(V1/V2))+i;
K2:=Cour(K2o);
if (K2-gam2>180+Arcsin(V1/V2)) and (K2-gam2<360-Arcsin(V1/V2)) then goto 2;
K11o:=Round(gam2+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam2)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
Gr1[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
Gr1[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
{Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);}
Grs[2*Ncn{+1}-Ncno].x:=Gr1[i].x;
Grs[2*Ncn{+1}-Ncno].y:=Gr1[i].y;
No:=2*Ncn{+1}-Ncno;
end;
2: end;

for i:=Ncn to 360 do Gr1[i]:=Gr1[Ncn];

for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn];

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,195,195));
Polygon(Grs);

```

```

Pen.Mode:=pmCopy;

Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));

for i:=1 to Ncn do
  Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);

Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));

for i:=1 to Ncno do
  Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);
end;

if V2<{=}V1 then
  begin
    Ncn:=0;
    gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));

    for i:=0 to 360 do
      begin
        K2o:=Round(gam1+i);
        K2:=Cour(K2o);

        K11o:=Round(gam1+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam1)/57.3)));
        K11:=Cour(K11o);
        KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
        if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
          begin
            Ncn:=Ncn+1;
            Gr[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
            Gr[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
            Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
            Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);
            Grs[Ncn].x:=Gr[i].x;
            Grs[Ncn].y:=Gr[i].y;
          end;

        end;
      Grs[Ncn+1]:=Grs[Ncn];

    Ncno:=0;

    for i:=0 to 360 do
      begin
        K2o:=Round(gam2+i);
        K2:=Cour(K2o);

        K11o:=Round(gam2+Arcsin((V2/V1)*sin((K2-gam2)/57.3)));
        K11:=Cour(K11o);
        KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);

```

```

if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
  begin
    if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
    Gr1[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
    Gr1[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
    Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));
    Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);
    Grs[2*Ncn+1-Ncno].x:=Gr1[i].x;
    Grs[2*Ncn+1-Ncno].y:=Gr1[i].y;
    No:=2*Ncn+1-Ncno;
  end;

end;

for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn+1];

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,195,195));
Polygon(Grs);

Pen.Mode:=pmCopy;

Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));

for i:=1 to Ncn do
  Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);

Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));

for i:=1 to Ncno do
  Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);

{Pen.Color:=TColor(RGB(155,195,155));

Polyline(Gr);
Polyline(Gr1);}

end;

if V2=V1 then
  begin
    Ncn:=0;
    gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));

    for i:=0 to 360 do
      begin
        K2o:=Round(gam1+i);
        K2:=Cour(K2o);

```

```

K11o:=Round(180+2*gam1-K2o);
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
  begin
    Ncn:=Ncn+1;
    Gr[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
    Gr[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
    Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
    Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);
    Grs[Ncn].x:=Gr[i].x;
    Grs[Ncn].y:=Gr[i].y;
  end;

end;

Ncno:=0;

for i:=0 to 360 do
  begin
    K2o:=Round(gam2+i);
    K2:=Cour(K2o);

    K11o:=Round(180+2*gam2-K2o);
    K11:=Cour(K11o);
    KotVot(K11,K2,V1,V2,Kot1,Vot);
    if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
      begin
        if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
        Gr1[i].x:=Round(237+K2o*0.65);
        Gr1[i].y:=Round(371-K11o*0.65);
        Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));
        Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);
        Grs[2*Ncn+1-Ncno].x:=Gr1[i].x;
        Grs[2*Ncn+1-Ncno].y:=Gr1[i].y;
        No:=2*Ncn+1-Ncno;
      end;

    end;

for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn];

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,195,195));
Polygon(Grs);

Pen.Mode:=pmCopy;

```

```

{Pen.Color:=TColor(RGB(155,195,155));

Polyline(Gr);
Polyline(Gr1);}

end;
end;
end;

procedure Vsl(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndV,IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
Xo,Yo,K : Integer; V : real; IndBmp : byte; var Xn,Yn,Xk,Yk,Xs,Ys: Integer);

var
i,s,sv : byte;
R,a : Integer;
X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;

begin
Xn:=Xo; Yn:=Yo-Round((Lv-L1-L2)/2);
Xk:=Xo; Yk:=Yo+Round((Lv-L1-L2)/2);

a:=Round(Bv/2);

for i:=0 to 30 do
begin
R:=a;
Re1[i].x:=Round(Xk+R*cos((6*i)/57.3));
Re1[i].y:=Round(Yk+R*sin((6*i)/57.3));
end;

for i:=0 to 2*a do
begin
X:=i-a;
Y:=(L1*Sqrt(Sqr(a)-Sqr(X)))/a;
Re[i].x:=Round(Xn+X);
Re[i].y:=Round(Yn-Y);
s:=i;
end;

for i:=0 to s do ReV[i]:=Re[i];
for i:=s+1 to s+31 do ReV[i]:=Re1[i-s-1];
for i:=s+32 to 120 do ReV[i]:=ReV[s+31];
sv:=s+31;

for i:=0 to sv do
begin
L[i]:=Distn(Xo-ReV[i].x,Yo-ReV[i].y);
Alf[i]:=Pelg(ReV[i].x-Xo,Yo-ReV[i].y);

```


end;

```
for i:=0 to sv do
begin
  ReV[i].x:=Round(Xo+L[i]*sin((Alf[i]+K)/57.3));
  ReV[i].y:=Round(Yo-L[i]*cos((Alf[i]+K)/57.3));
end;
```

```
for i:=sv+1 to 120 do ReV[i]:=ReV[sv];
```

```
L[1]:=Distn(Xo-Xn,Yo-Yn);
Alf[1]:=Pelg(Xn-Xo,Yo-Yn);
Xn:=Round(Xo+L[1]*sin((Alf[1]+K)/57.3));
Yn:=Round(Yo-L[1]*cos((Alf[1]+K)/57.3));
```

```
L[2]:=Distn(Xo-Xk,Yo-Yk);
Alf[2]:=Pelg(Xk-Xo,Yo-Yk);
Xk:=Round(Xo+L[2]*sin((Alf[2]+K)/57.3));
Yk:=Round(Yo-L[2]*cos((Alf[2]+K)/57.3));
```

```
Xs:=ReV[36].x; Ys:=ReV[36].y;
```

```
if IndBmp=0 then
begin
  with Image.Canvas do
  begin
    if IndV=0 then
    begin
      if IndCol=0 then
      begin
        Pen.Color:=TColor(RGB(170,120,120));
        Brush.Color:=TColor(RGB(255,220,220));
      end
    else
    begin
      Pen.Color:=TColor(RGB(110,80,80));
      Brush.Color:=TColor(RGB(200,170,170));
    end;
    end
  else
  begin
    if IndCol=0 then
    begin
      Pen.Color:=TColor(RGB(120,120,170));
      Brush.Color:=TColor(RGB(200,220,230));
    end
    else
    begin
      Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,150));
      Brush.Color:=TColor(RGB(170,190,200));
    end;
  end;
```

```

    end;

    Polygon(ReV);
    end;
end;

if IndBmp=1 then
begin
with Bmp.Canvas do
begin
if IndV=0 then
begin
if IndCol=0 then
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(170,120,120));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,220,220));
end
else
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(150,100,100));
Brush.Color:=TColor(RGB(200,70,70));
end;
end
else
begin
if IndCol=0 then
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(120,120,170));
Brush.Color:=TColor(RGB(200,220,230));
end
else
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(100,100,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(70,90,200));
end;
end;
end;

    Polygon(ReV);
    end;
end;

end;

procedure ShipA(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndOk,IndLine,IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
Xv,Yv,K1,Xc,Yc,K2 : Integer; V1,V2 : real; IndBmp : byte);

var
i,s,sv : byte;
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2,Xk,Yk,Kotr : Integer;
X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;

```

```

begin

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;

{if IndOK=2 then
begin}
with Image.Canvas do
begin

Vsl(Bmp,Image,1,IndCol{0},Lv,Bv,L1,L2,Xv,Yv,K1,V1,IndBmp,Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1);

Vsl(Bmp,Image,0,IndCol{0},Lv,Bv,L1,L2,Xc,Yc,K2,V2,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
end;
{end;}

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Width:=1;

end;

procedure Ship3(Bmp : TBitmap; Image : TImage; IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
X1,Y1,K1,X2,Y2,K2,X3,Y3,K3 : Integer; V1,V2,V3 : real; IndBmp : byte);

var
i,s,sv : byte;
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2,Xk,Yk,Kotr : Integer;
X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;

begin

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;

{if IndOK=2 then
begin}
with Image.Canvas do
begin
Vsl(Bmp,Image,1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1,V1,IndBmp,Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X2,Y2,K2,V2,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X3,Y3,K3,V3,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
end;
{end;}

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

```

Image.Canvas.Pen.Width:=1;

end;

procedure Ship4(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
X1,Y1,K1,X2,Y2,K2,X3,Y3,K3,X4,Y4,K4 : Integer; V1,V2,V3,V4 : real; IndBmp : byte);

var

i,s,sv : byte;

Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2,Xk,Yk,Kotr : Integer;

X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;

begin

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;

{if IndOK=2 then

begin}

with Image.Canvas do

begin

Vsl(Bmp,Image,1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1,V1,IndBmp,Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1);

Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X2,Y2,K2,V2,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);

Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X3,Y3,K3,V3,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);

Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X4,Y4,K4,V4,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);

end;

{end;}

if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;

Image.Canvas.Pen.Width:=1;

end;

procedure Ship5(Bmp : TBitMap; Image : TImage; IndCol,Lv,Bv,L1,L2 : byte;
X1,Y1,K1,X2,Y2,K2,X3,Y3,K3,X4,Y4,K4,X5,Y5,K5 : Integer;
V1,V2,V3,V4,V5 : real; IndBmp : byte);

var

i,s,sv : byte;

Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2,Xk,Yk,Kotr : Integer;

X,Y : real;

L,Alf : array[0..120] of real;

```
begin
```

```
if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmMask;
```

```
{if IndOK=2 then
```

```
begin}
```

```
with Image.Canvas do
```

```
begin
```

```
Vsl(Bmp,Image,1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1,V1,IndBmp,Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xs1,Ys1);
```

```
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X2,Y2,K2,V2,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
```

```
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X3,Y3,K3,V3,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
```

```
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X4,Y4,K4,V4,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
```

```
Vsl(Bmp,Image,0,0,Lv,Bv,L1,L2,X5,Y5,K5,V5,IndBmp,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,Xs2,Ys2);
```

```
end;
```

```
{end;}
```

```
if IndBmp=1 then Bmp.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;
```

```
Image.Canvas.Pen.Mode:=pmCopy;
```

```
Image.Canvas.Pen.Width:=1;
```

```
end;
```

```
procedure DelKSig(Kn,Kk :real; var DK,sgn: Integer);
```

```
var
```

```
qvote,qvotk : byte;
```

```
Dlk : real;
```

```
begin
```

```
if sin(Kn/57.3)>0 then
```

```
begin
```

```
if cos(Kn/57.3)>0 then qvote:=1
```

```
else qvote:=2;
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
if cos(Kn/57.3)>0 then qvote:=4
```

```
else qvote:=3;
```

```
end;
```

```
if sin(Kk/57.3)>0 then
```

```
begin
```

```
if cos(Kk/57.3)>0 then qvotk:=1
```

```
else qvotk:=2;
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
if cos(Kk/57.3)>0 then qvotk:=4
```

```
else qvotk:=3;
```

```

end;

case qvotn of
1: begin
  case qvotk of
1: begin
  Dlk:=Kk-Kn;
  DK:=Round(Abs(Dlk));
  if Dlk>0 then sgn:=1
  else sgn:=-1;
  end;
2: begin
  Dlk:=Kk-Kn;
  DK:=Round(Abs(Dlk));
  sgn:=1;
  end;
3: begin
  if Kk<Kn+180 then
    begin
      Dlk:=Kk-Kn;
      DK:=Round(Abs(Dlk));
      sgn:=1;
    end
  else
    begin
      Dlk:=(360-Kk)+Kn;
      DK:=Round(Abs(Dlk));
      sgn:=-1;
    end;
  end;
4: begin
  Dlk:=(360-Kk)+Kn;
  DK:=Round(Abs(Dlk));
  sgn:=-1;
  end;
  end;

2: begin
  case qvotk of
1: begin
  Dlk:=Kn-Kk;
  DK:=Round(Abs(Dlk));
  sgn:=-1;
  end;
2: begin
  Dlk:=Kk-Kn;
  DK:=Round(Abs(Dlk));
  if Dlk>0 then sgn:=1
  else sgn:=-1;
  end;
3: begin

```

```

    Dlk:=Kk-Kn;
    DK:=Round(Abs(Dlk));
    sgn:=1;
    end;
4: begin
    if Kk<Kn+180 then
        begin
            Dlk:=Kk-Kn;
            DK:=Round(Abs(Dlk));
            sgn:=1;
            end
        else
            begin
                Dlk:=(360-Kk)+Kn;
                DK:=Round(Abs(Dlk));
                sgn:=-1;
                end;
            end;
        end;
3: begin
    case qvotk of
1: begin
        if Kk<Kn-180 then
            begin
                Dlk:=(360-Kn)+Kk;
                DK:=Round(Abs(Dlk));
                sgn:=1;
                end
            else
                begin
                    Dlk:=Kn-Kk;
                    DK:=Round(Abs(Dlk));
                    sgn:=-1;
                    end;
                end;
2: begin
        Dlk:=Kn-Kk;
        DK:=Round(Abs(Dlk));
        sgn:=-1;
        end;
3: begin
        Dlk:=Kk-Kn;
        DK:=Round(Abs(Dlk));
        if Dlk>0 then sgn:=1
        else sgn:=-1;
        end;
4: begin
        Dlk:=Kk-Kn;
        DK:=Round(Abs(Dlk));
        sgn:=1;
        end;

```

```

        end;
    end;
4: begin
    case quotk of
    1: begin
        Dlk:=(360-Kn)+Kk;
        DK:=Round(Abs(Dlk));
        sgn:=1;
        end;
    2: begin
        if Kk<Kn-180 then
            begin
                Dlk:=(360-Kn)+Kk;
                DK:=Round(Abs(Dlk));
                sgn:=1;
            end
        else
            begin
                Dlk:=Kn-Kk;
                DK:=Round(Abs(Dlk));
                sgn:=-1;
            end;
        end;
    3: begin
        Dlk:=Kn-Kk;
        DK:=Round(Abs(Dlk));
        sgn:=-1;
        end;
    4: begin
        Dlk:=Kk-Kn;
        DK:=Round(Abs(Dlk));
        if Dlk>0 then sgn:=1
        else sgn:=-1;
        end;
    end;
    end;
    end;
    end;
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
label 1,2,3;
var
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,K11,K12,gam1,gam2,Nb,Ne: word;
Scale : real;
StC : string[3];

HoldTyp : byte;

i,j,k,Ncn,Ncno,No : word;
Xtr,Ytr,Ztr,Xs,Ys,Xcr,Ycr,K2o,K11o,K12o,K21o : Integer;
Gr,Gr1 : Pt;
Grs : Pt1;

```



```

begin
ShowBmp := TBitMap.Create;
ShowBmp.Width:=800;
ShowBmp.Height:=600;

CargoBmp := TBitMap.Create;
CargoBmp.Width:=800;
CargoBmp.Height:=600;

CopyBmp := TBitMap.Create;
CopyBmp.Width:=540;
CopyBmp.Height:=100;

VBmp := TBitMap.Create;
VBmp.Width:=800;
VBmp.Height:=600;

SBmp := TBitMap.Create;
SBmp.Width:=800;
SBmp.Height:=600;

Nves:=2; IndOK:=0; IndVes:=1; IndK:=1; IndV:=1; IndA:=1; IndD:=1; IndS:=1;
IndAv:=1; DKm:=360; IndDm:=1; IndKm1:=1; IndKm2:=1; IndKm3:=1; IndSit:=1;
IndShow:=0; t:=0; StopTimer:=0; ty:=0; IndChen:=-1; IndTr:=1; IndMana:=1;
IndManp:=1; IndCtr:=0; Regim:=1; IndFin:=1; IndGrn:=1;
M:=22100000; myu:=8215; Pm:=517328;
{Bv:=15; L1:=20; L2:=5; Lv:=60;}
{alf:=90; V1:=15; V2:=20; D:=3; Dd:=1.0;} IndBeg:=0;
V1:=15; V2:=20; D:=3; Dd:=1.0;
K1:=120{225}; K2:=70; alf:=200{235};

K1n:=K1; K2n:=K2;
Bv:=10; L1:=12; L2:=4; Lv:=40;

ColorRect>ShowBmp,Image1,0,0,670,512,RGB(219,217,209),0);
ColorRect>ShowBmp,Image1,0,0,560,512,RGB(250,255,255),0);

Xt:=280{335}+Round(45*D*sin(alf/57.3));
Yt:=255-Round(45*D*cos(alf/57.3));
Xvs:=280{335}-Round(45*D*sin(alf/57.3));
Yvs:=255+Round(45*D*cos(alf/57.3));

ShipA>ShowBmp,Image1,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xvs,Yvs,Round(K1),Xt,Yt,Round(K2),V1,V2,0);

ColorLine>ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xt,Yt,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(5*V1*sin(K1/57.3)),
Yvs-Round(5*V1*cos(K1/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(5*V2*sin(K2/57.3)),
Yt-Round(5*V2*cos(K2/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);

```

```

KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);

ColorLine>ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(200*sin(Kot/57.3)),
      Yvs-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

end;

procedure TForm1.FormDestroy(Sender: TObject);
begin
ShowBmp.Free;
CargoBmp.Free;
CopyBmp.Free;
VBmp.Free;
SBmp.Free;
end;

procedure TForm1.Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);

var Str1 : string[4];

begin
with Image1.Canvas do
begin
ColorRect>ShowBmp,Image1,7,7,35,25,
  RGB(230,240,250),0);
Str(X,Str1);
TextOut(10,10,Str1);
ColorRect>ShowBmp,Image1,40,7,68,25,
  RGB(230,240,250),0);
Str(Y,Str1);
TextOut(43,10,Str1);
Xcn:=X; Ycn:=Y;
end;
end;

{ SCROLL }
procedure TForm1.ScrollBar1Scroll(Sender: TObject; ScrollCode: TScrollCode;
  var ScrollPos: Integer);

var
StrF,StC: string[3];
StD,Stg : string[5];
StF : string[4];
Xob,Yob,Xn1 : Integer;
Xvsv,Yvsv,Xtv,Ytv,Dva,alfva,Dmina : real;

begin
if IndOK=1 then
begin
ColorRect>ShowBmp,Image1,0,0,672,512,RGB(219,217,209),0);

```

```

ColorRect(ShowBmp,Image1,0,0,560,512,RGB(250,255,255),0);
case IndVes of
1: begin
  if IndScroll=1 then {alf}
  begin
    alf:=ScrollPos;
    Str(Round(alf),StrF);
    Button3.Caption:='A12 = '+StrF;
    Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;
  end;
  if IndScroll=2 then {D}
  begin
    D:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D);
    Button4.Caption:='D12 = '+StrF;
    Panel2.Caption:='D12 = '+StrF;
  end;
  if IndScroll=3 then {K}
  begin
    if IndK=1 then
    begin
      K1:=ScrollPos;
      Str(Round(K1),StrF);
      Button5.Caption:='K1 = '+StrF;
      Str(K1,StD);
      Str(V1,StC);
      Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
    end;
    if IndK=2 then
    begin
      K2:=ScrollPos;
      Str(Round(K2),StrF);
      Button5.Caption:='K2 = '+StrF;
      Str(K2,StD);
      Str(V2,StC);
      Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
  end;
  if IndScroll=4 then {V}
  begin
    if IndV=1 then
    begin
      V1:=ScrollPos;
      Str(Round(V1),StrF);
      Button6.Caption:='V1 = '+StrF;
      Str(K1,StD);
      Str(V1,StC);
      Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
    end;
    if IndV=2 then
    begin
      V2:=ScrollPos;

```

```

    Str(Round(V2),StrF);
    Button6.Caption:='V2 = '+StrF;
    Str(K2,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
end;

Xt:=280+Round(45*D*sin(alf/57.3));
Yt:=255-Round(45*D*cos(alf/57.3));
Xvs:=280-Round(45*D*sin(alf/57.3));
Yvs:=255+Round(45*D*cos(alf/57.3));

ShipA(ShowBmp,Image1,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xvs,Yvs,Round(K1),Xt,Yt,Round(K2),V1,V2,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xt,Yt,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(5*V1*sin(K1/57.3)),
    Yvs-Round(5*V1*cos(K1/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xt,Yt,Xt+Round(5*V2*sin(K2/57.3)),
    Yt-Round(5*V2*cos(K2/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);

{KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);}

KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
    ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
        Yvs-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
    ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
        Yvs-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

end;
2: begin
    if IndScroll=1 then {alf}
        begin
            case IndA of
            1: begin
                alf12:=ScrollPos;
                Str(Round(alf12),StrF);
                Button3.Caption:='A12 = '+StrF;
                Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;
                end;
            2: begin
                alf13:=ScrollPos;
                Str(Round(alf13),StrF);
                Button3.Caption:='A13 = '+StrF;
                Panel3.Caption:='A13 = '+StrF;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

    end;
    end;
end;

if IndScroll=2 then {D}
begin
  case IndD of
1: begin
    D12:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D12);
    Button4.Caption:='D12 = '+StrF;
    Panel2.Caption:='D12 = '+StrF;
    end;
2: begin
    D13:=ScrollPos/10;
    StrF:=FloatToStr(D13);
    Button4.Caption:='D13 = '+StrF;
    Panel4.Caption:='D13 = '+StrF;
    end;
    end;
end;
if IndScroll=3 then {K}
begin
  case IndK of
1: begin
    K1n:=ScrollPos;
    Str(Round(K1n),StrF);
    Button5.Caption:='K1 = '+StrF;
    Str(K1n,StD);
    Str(V1,StC);
    Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
    end;
2: begin
    K2n:=ScrollPos;
    Str(Round(K2n),StrF);
    Button5.Caption:='K2 = '+StrF;
    Str(K2n,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
3: begin
    K3n:=ScrollPos;
    Str(Round(K3n),StrF);
    Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
    Str(K3n,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
    end;
    end;
end;
if IndScroll=4 then {V}
begin

```

```

case IndV of
1: begin
    V1:=ScrollPos;
    Str(Round(V1),StrF);
    Button6.Caption:='V1 = '+StrF;
    Str(K1,StD);
    Str(V1,StC);
    Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
    end;
2: begin
    V2:=ScrollPos;
    Str(Round(V2),StrF);
    Button6.Caption:='V2 = '+StrF;
    Str(K2,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
3: begin
    V3:=ScrollPos;
    Str(Round(V3),StrF);
    Button6.Caption:='V3 = '+StrF;
    Str(K3,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
    end;
    end;
end;

X1:=280; Y1:=255;
X2:=280+Round(D12*50*sin(alf12/57.3));
Y2:=255-Round(D12*50*cos(alf12/57.3));
X3:=280+Round(D13*50*sin(alf13/57.3));
Y3:=255-Round(D13*50*cos(alf13/57.3));

Ship3(ShowBmp,Image1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1n,X2,Y2,K2n,X3,Y3,K3n,V1,V2,V3,0);

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X2,Y2,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X3,Y3,RGB(100,140,100),1,0);

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(100*sin(K1n/57.3)),
    Y1-Round(100*cos(K1n/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X2,Y2,X2+Round(100*sin(K2n/57.3)),
    Y2-Round(100*cos(K2n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X3,Y3,X3+Round(100*sin(K3n/57.3)),
    Y3-Round(100*cos(K3n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K2n),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);
KotVot(Round(K1n),Round(K3n),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
{StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;}
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);;
Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K3n),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;
end;
3: begin
if IndScroll=1 then {alf}
begin
case IndA of
1: begin
alf12:=ScrollPos;
Str(Round(alf12),StrF);
Button3.Caption:='A12 = '+StrF;
Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;
end;
2: begin
alf13:=ScrollPos;
Str(Round(alf13),StrF);
Button3.Caption:='A13 = '+StrF;
Panel3.Caption:='A13 = '+StrF;
end;
3: begin
alf14:=ScrollPos;
Str(Round(alf14),StrF);
Button3.Caption:='A14 = '+StrF;
Panel5.Caption:='A14 = '+StrF;
end;
end;
end;

if IndScroll=2 then {D}

```

```

begin
case IndD of
1: begin
  D12:=ScrollPos/10;
  StrF:=FloatToStr(D12);
  Button4.Caption:='D12 = '+StrF;
  Panel2.Caption:='D12 = '+StrF;
  end;
2: begin
  D13:=ScrollPos/10;
  StrF:=FloatToStr(D13);
  Button4.Caption:='D13 = '+StrF;
  Panel4.Caption:='D13 = '+StrF;
  end;
3: begin
  D14:=ScrollPos/10;
  StrF:=FloatToStr(D14);
  Button4.Caption:='D14 = '+StrF;
  Panel6.Caption:='D14 = '+StrF;
  end;
end;
if IndScroll=3 then {K}
begin
case IndK of
1: begin
  K1n:=ScrollPos;
  Str(Round(K1n),StrF);
  Button5.Caption:='K1 = '+StrF;
  Str(K1n,StD);
  Str(V1,StC);
  Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
  end;
2: begin
  K2n:=ScrollPos;
  Str(Round(K2n),StrF);
  Button5.Caption:='K2 = '+StrF;
  Str(K2n,StD);
  Str(V2,StC);
  Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
  end;
3: begin
  K3n:=ScrollPos;
  Str(Round(K3n),StrF);
  Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
  Str(K3n,StD);
  Str(V3,StC);
  Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
  end;
4: begin
  K4n:=ScrollPos;
  Str(Round(K4n),StrF);

```



```

    Button5.Caption:='K4 = '+StrF;
    Str(K4n,StD);
    Str(V4,StC);
    Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
    end;
    end;
end;
if IndScroll=4 then {V}
begin
    case IndV of
    1: begin
        V1:=ScrollPos;
        Str(Round(V1),StrF);
        Button6.Caption:='V1 = '+StrF;
        Str(K1,StD);
        Str(V1,StC);
        Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
        end;
    2: begin
        V2:=ScrollPos;
        Str(Round(V2),StrF);
        Button6.Caption:='V2 = '+StrF;
        Str(K2,StD);
        Str(V2,StC);
        Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
        end;
    3: begin
        V3:=ScrollPos;
        Str(Round(V3),StrF);
        Button6.Caption:='V3 = '+StrF;
        Str(K3,StD);
        Str(V3,StC);
        Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
        end;
    4: begin
        V4:=ScrollPos;
        Str(Round(V4),StrF);
        Button6.Caption:='V4 = '+StrF;
        Str(K4,StD);
        Str(V4,StC);
        Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
        end;
    end;
end;

X1:=280; Y1:=255;
X2:=280+Round(D12*50*sin(alf12/57.3));
Y2:=255-Round(D12*50*cos(alf12/57.3));
X3:=280+Round(D13*50*sin(alf13/57.3));
Y3:=255-Round(D13*50*cos(alf13/57.3));
X4:=280+Round(D14*50*sin(alf14/57.3));
Y4:=255-Round(D14*50*cos(alf14/57.3));

```

```
Ship4(ShowBmp,Image1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1n,X2,Y2,K2n,X3,Y3,K3n,X4,Y4,K4n,V1,V2,V3,V4,0);
```

```
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X2,Y2,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X3,Y3,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X4,Y4,RGB(100,140,100),1,0);
```

```
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(100*sin(K1n/57.3)),
Y1-Round(100*cos(K1n/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X2,Y2,X2+Round(100*sin(K2n/57.3)),
Y2-Round(100*cos(K2n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X3,Y3,X3+Round(100*sin(K3n/57.3)),
Y3-Round(100*cos(K3n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X4,Y4,X4+Round(100*sin(K4n/57.3)),
Y4-Round(100*cos(K4n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
```

```
KotVot(Round(K1n),Round(K2n),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);
```

```
KotVot(Round(K1n),Round(K3n),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);
```

```
KotVot(Round(K1n),Round(K4n),Round(V1),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin14:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
if Dmin14<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);
```

```
alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);;
Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;
```

```

KotVot(Round(K2n),Round(K3n),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;

alf24:=Pelg(X4-X2,Y2-Y4);
D24:=Distn((X2-280)/50-(X4-280)/50,(Y2-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf24),StD);
StF:=FloatToStr(D24);
Panel14.Caption:='A24='+StD+' D24='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K4n),Round(V2),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin24:=Abs(D24*sin((alf24-Kot)/57.3));

alf34:=Pelg(X4-X3,Y3-Y4);
D34:=Distn((X3-280)/50-(X4-280)/50,(Y3-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf34),StD);
StF:=FloatToStr(D34);
Panel15.Caption:='A34='+StD+' D34='+StF;
KotVot(Round(K3n),Round(K4n),Round(V3),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin34:=Abs(D34*sin((alf34-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin34);
Panel22.Caption:='Dmin34 = '+StD;
end;
4: begin
if IndScroll=1 then {alf}
begin
case IndA of
1: begin
alf12:=ScrollPos;
Str(Round(alf12),StrF);
Button3.Caption:='A12 = '+StrF;
Panel1.Caption:='A12 = '+StrF;
end;
2: begin
alf13:=ScrollPos;
Str(Round(alf13),StrF);
Button3.Caption:='A13 = '+StrF;
Panel3.Caption:='A13 = '+StrF;
end;
3: begin
alf14:=ScrollPos;
Str(Round(alf14),StrF);
Button3.Caption:='A14 = '+StrF;
Panel5.Caption:='A14 = '+StrF;
end;
4: begin
alf15:=ScrollPos;
Str(Round(alf15),StrF);
Button3.Caption:='A15 = '+StrF;
Panel7.Caption:='A15 = '+StrF;
end;
end;
end;

```

```

end;

if IndScroll=2 then {D}
begin
case IndD of
1: begin
D12:=ScrollPos/10;
StrF:=FloatToStr(D12);
Button4.Caption:='D12 = '+StrF;
Panel2.Caption:='D12 = '+StrF;
end;
2: begin
D13:=ScrollPos/10;
StrF:=FloatToStr(D13);
Button4.Caption:='D13 = '+StrF;
Panel4.Caption:='D13 = '+StrF;
end;
3: begin
D14:=ScrollPos/10;
StrF:=FloatToStr(D14);
Button4.Caption:='D14 = '+StrF;
Panel6.Caption:='D14 = '+StrF;
end;
4: begin
D15:=ScrollPos/10;
StrF:=FloatToStr(D15);
Button4.Caption:='D15 = '+StrF;
Panel8.Caption:='D15 = '+StrF;
end;
end;
if IndScroll=3 then {K}
begin
case IndK of
1: begin
K1n:=ScrollPos;
Str(Round(K1n),StrF);
Button5.Caption:='K1 = '+StrF;
Str(K1n,StD);
Str(V1,StC);
Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
end;
2: begin
K2n:=ScrollPos;
Str(Round(K2n),StrF);
Button5.Caption:='K2 = '+StrF;
Str(K2n,StD);
Str(V2,StC);
Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
end;
3: begin
K3n:=ScrollPos;

```

```

    Str(Round(K3n),StrF);
    Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
    Str(K3n,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
    end;
4: begin
    K4n:=ScrollPos;
    Str(Round(K4n),StrF);
    Button5.Caption:='K4 = '+StrF;
    Str(K4n,StD);
    Str(V4,StC);
    Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
    end;
5: begin
    K5n:=ScrollPos;
    Str(Round(K5n),StrF);
    Button5.Caption:='K5 = '+StrF;
    Str(K5n,StD);
    Str(V5,StC);
    Panel16.Caption:='5 K5='+StD+' V5='+StC;
    end;
    end;
if IndScroll=4 then {V}
    begin
    case IndV of
1: begin
    V1:=ScrollPos;
    Str(Round(V1),StrF);
    Button6.Caption:='V1 = '+StrF;
    Str(K1,StD);
    Str(V1,StC);
    Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
    end;
2: begin
    V2:=ScrollPos;
    Str(Round(V2),StrF);
    Button6.Caption:='V2 = '+StrF;
    Str(K2,StD);
    Str(V2,StC);
    Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;
    end;
3: begin
    V3:=ScrollPos;
    Str(Round(V3),StrF);
    Button6.Caption:='V3 = '+StrF;
    Str(K3,StD);
    Str(V3,StC);
    Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
    end;
4: begin

```

```

V4:=ScrollPos;
Str(Round(V4),StrF);
Button6.Caption:='V4 = '+StrF;
Str(K4,StD);
Str(V4,StC);
Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
end;
5: begin
V5:=ScrollPos;
Str(Round(V5),StrF);
Button6.Caption:='V5 = '+StrF;
Str(K5,StD);
Str(V5,StC);
Panel16.Caption:='5 K5='+StD+' V5='+StC;
end;
end;
end;

X1:=280; Y1:=255;
X2:=280+Round(D12*50*sin(alf12/57.3));
Y2:=255-Round(D12*50*cos(alf12/57.3));
X3:=280+Round(D13*50*sin(alf13/57.3));
Y3:=255-Round(D13*50*cos(alf13/57.3));
X4:=280+Round(D14*50*sin(alf14/57.3));
Y4:=255-Round(D14*50*cos(alf14/57.3));
X5:=280+Round(D15*50*sin(alf15/57.3));
Y5:=255-Round(D15*50*cos(alf15/57.3));

Ship5(ShowBmp,Image1,0,Lv,Bv,L1,L2,X1,Y1,K1n,X2,Y2,K2n,X3,Y3,K3n,X4,Y4,K4n,
X5,Y5,K5n,V1,V2,V3,V4,V5,0);

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X2,Y2,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X3,Y3,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X4,Y4,RGB(100,140,100),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X5,Y5,RGB(100,140,100),1,0);

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(100*sin(K1n/57.3)),
Y1-Round(100*cos(K1n/57.3)),RGB(40,40,140),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X2,Y2,X2+Round(100*sin(K2n/57.3)),
Y2-Round(100*cos(K2n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X3,Y3,X3+Round(100*sin(K3n/57.3)),
Y3-Round(100*cos(K3n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X4,Y4,X4+Round(100*sin(K4n/57.3)),
Y4-Round(100*cos(K4n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,X5,Y5,X5+Round(100*sin(K5n/57.3)),
Y5-Round(100*cos(K5n/57.3)),RGB(140,40,40),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K2n),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;

```

```

if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K3n),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

KotVot(Round(K1n),Round(K4n),Round(V1),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin14:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
if Dmin14<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);
KotVot(Round(K1n),Round(K5n),Round(V1),Round(V5),Kot,Vot);
Dmin15:=Abs(D15*sin((alf15-Kot)/57.3));
if Dmin15<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);;
Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K3n),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;

alf24:=Pelg(X4-X2,Y2-Y4);
D24:=Distn((X2-280)/50-(X4-280)/50,(Y2-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf24),StD);
StF:=FloatToStr(D24);
Panel14.Caption:='A24='+StD+' D24='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K4n),Round(V2),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin24:=Abs(D24*sin((alf24-Kot)/57.3));

```

```

alf25:=Pelg(X5-X2,Y2-Y5);
D25:=Distn((X2-280)/50-(X5-280)/50,(Y2-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf25),StD);
StF:=FloatToStr(D25);
Panel17.Caption:='A25='+StD+' D25='+StF;
KotVot(Round(K2n),Round(K5n),Round(V2),Round(V5),Kot,Vot);
Dmin25:=Abs(D25*sin((alf25-Kot)/57.3));

alf34:=Pelg(X4-X3,Y3-Y4);
D34:=Distn((X3-280)/50-(X4-280)/50,(Y3-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf34),StD);
StF:=FloatToStr(D34);
Panel12.Caption:='A34='+StD+' D34='+StF;
KotVot(Round(K3n),Round(K4n),Round(V3),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin34:=Abs(D34*sin((alf34-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin34);
Panel22.Caption:='Dmin34 = '+StD;

alf35:=Pelg(X5-X3,Y3-Y5);
D35:=Distn((X3-280)/50-(X5-280)/50,(Y3-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf35),StD);
StF:=FloatToStr(D35);
Panel18.Caption:='A35='+StD+' D35='+StF;
KotVot(Round(K3n),Round(K5n),Round(V3),Round(V5),Kot,Vot);
Dmin35:=Abs(D35*sin((alf35-Kot)/57.3));

alf45:=Pelg(X5-X4,Y4-Y5);
D45:=Distn((X4-280)/50-(X5-280)/50,(Y4-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf45),StD);
StF:=FloatToStr(D45);
Panel19.Caption:='A45='+StD+' D45='+StF;
KotVot(Round(K4n),Round(K5n),Round(V4),Round(V5),Kot,Vot);
Dmin45:=Abs(D45*sin((alf45-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin45);
Panel23.Caption:='Dmin45 = '+StD;
end;
end; {case}
end;

```

```

if IndOK=2 then
begin
case IndVes of
1: begin
if IndScroll=1 then
begin
if Regim=1 then
begin
Ky:=ScrollPos;
Str(Round(Ky),StrF);
end
else

```



```

begin
  Kyp:=ScrollPos;
  Str(Round(Kyp),StrF);
end;
Button3.Caption:='Ky = '+StrF;
end;
if IndScroll=2 then
begin
  Vy:=ScrollPos/10;
  {Str(Round(Vy),StrF);}
  StF:=FloatToStr(Vy);
  Button4.Caption:='Vy = '+StF;
end;

if Regim=1 then
begin
  if Voz=1 then
  begin
    Image1.Canvas.CopyRect(Rect(70,5,670,510),
    ShowBmp.Canvas,Rect(70,5,670,510));
    Xn1:=Round(K1);
    Yn:=254-Round(0.8667*(Ky-Xn1));
    ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(20,130,20),1,0);
  end
  else
  begin
    Image1.Canvas.CopyRect(Rect(117,15,590,495),
    CargoBmp.Canvas,Rect(117,15,590,495));
    KotVot(Ky,K2,Vy,V2,Kot,Vot);
    Xn1:=Cour(Round(K2+180));
    Yn:=254-Round(0.8667*(Kot-Xn1));
    ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(20,130,20),1,0);
  end;
  KotVot(Ky,K2,Vy,V2,Kot,Vot);
  Lm:=Abs(Disn*sin((alfn-Kot)/57.3));
  StF:=FloatToStr(Lm);
  Panel4.Caption:='Dmin= '+StF;
end
else
begin
  Image1.Canvas.CopyRect(Rect(80,10,600,509),
  VBmp.Canvas,Rect(80,10,600,509));
  Xn1:=Round(K1);
  Yn:=254-Round(0.8667*(Kyp-Xn1));
  ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(20,130,20),1,0);
  if Regim=2 then
  begin
    taua:=(1.1*M/Sqrt(myu*Pm))*(ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*V1))-
    ArcTan(Sqrt(myu/Pm)*(0.514*Vy)));
    Sa:=(1.1*M/(2*myu))*ln((Sqr(0.514*V1)+Pm/myu)/
    (Sqr(0.514*Vy)+Pm/myu));
    Sa:=Sa/1852;
  end;
end;
end;

```

```

Xvsv:=Xvst+Sa*sin(Kyp/57.3);
Yvsv:=Yvst+Sa*cos(Kyp/57.3);
Xtv:=Xtt+V2*(taua/3600)*sin(K2/57.3);
Ytv:=Ytt+V2*(taua/3600)*cos(K2/57.3);

KotVot(Kyp,K2,Vy,V2,Kot,Vot);

Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
alfva:=Pelg(Xtv-Xvsv,Ytv-Yvsv);
Dmina:=Abs(Dva*sin((alfva-Kot)/57.3));
end;
if Regim=3 then
begin
taup:=1.1*M*(V1/Vy-1)/(0.514*V1*myu);
Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V1/Vy))/(2*myu);
Sp:=Sp/1852;

Xvsv:=Xvst+Sp*sin(Kyp/57.3);
Yvsv:=Yvst+Sp*cos(Kyp/57.3);
Xtv:=Xtt+V2*(taup/3600)*sin(K2/57.3);
Ytv:=Ytt+V2*(taup/3600)*cos(K2/57.3);

KotVot(Kyp,K2,Vy,V2,Kot,Vot);

Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
alfva:=Pelg(Xtv-Xvsv,Ytv-Yvsv);
Dmina:=Abs(Dva*sin((alfva-Kot)/57.3));
end;

StF:=FloatToStr(Dmina);
Panel4.Caption:='Dmin= '+StF;
end;

Xn:=Round(120+Vy*13);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20,Xn,488,RGB(250,20,20),1,0);

(*if Voz=1 then
begin
if Regim=1 then
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(70,5,670,510),
ShowBmp.Canvas,Rect(70,5,670,510))
else
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(80,10,600,509),
VBmp.Canvas,Rect(80,10,600,509));

Xn1:=Round(K1);
if Regim=1 then
Yn:=254-Round(0.8667*(Ky-Xn1))
else Yn:=254-Round(0.8667*(Kyp-Xn1));
ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(20,130,20),1,0);
end

```

```

else
  begin
    if Regim=1 then
      {Image1.Canvas.CopyRect(Rect(70,5,670,510),
      ShowBmp.Canvas,Rect(70,5,670,510))}
      begin
        Image1.Canvas.CopyRect(Rect(117,15,590,495),
        CargoBmp.Canvas,Rect(117,15,590,495));
        KotVot(Ky,K2,Vy,V2,Kot,Vot);
        Xn1:=Cour(Round(K2+180));
        Yn:=254-Round(0.8667*(Kot-Xn1));
      end
    else
      begin
        Image1.Canvas.CopyRect(Rect(80,10,600,509),
        VBmp.Canvas,Rect(80,10,600,509));
        Xn1:=Round(K1);
        Yn:=254-Round(0.8667*(Kyp-Xn1));
      end;

      ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(20,130,20),1,0);
      end;

      Xn:=Round(120+Vy*13);
      ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,488{371},RGB(250,20,20),1,0);

      if Regim=1 then
        KotVot(Ky,K2,Vy,V2,Kot,Vot)
      else KotVot(Kyp,K2,Vy,V2,Kot,Vot);*)

      with Image1.Canvas do
        begin
          Pen.Color:=TColor(190,55,50);
          Brush.Color:=TColor(200,105,100);
          Ellipse(Xn-3,Yn-3,Xn+3,Yn+3);
        end;

        Str(Round(Kot),StF);
        Panel3.Caption:='Kot= '+StF;

        {Lm:=Abs(Disn*sin((alfn-Kot)/57.3));
        StF:=FloatToStr(Lm);
        Panel4.Caption:='Dmin= '+StF;}
        end;

2: begin
  if IndScroll=1 then
    begin
      K1:=ScrollPos;
      Str(Round(K1),StrF);
      Button3.Caption:='K1 = '+StrF;

```

```

    end;
if IndScroll=2 then
    begin
        K2:=ScrollPos;
        Str(Round(K2),StrF);
        Button4.Caption:='K2 = '+StrF;
    end;
if IndScroll=3 then
    begin
        K3:=ScrollPos;
        Str(Round(K3),StrF);
        Button5.Caption:='K3 = '+StrF;
    end;

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(70,5,670,510),
ShowBmp.Canvas,Rect(70,5,670,510));

Yn:=Round(194-0.5*K1*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(10,210,10),1,0);
Xn:=Round(412+0.5*K2*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20,Xn,253,RGB(250,10,10),1,0);
Yn:=Round(430-0.5*K2*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(250,10,10),1,0);
Xn:=Round(412+0.5*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,253,Xn,488,RGB(10,10,250),1,0);
Xn:=Round(180+0.5*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20,Xn,253,RGB(10,10,250),1,0);

if K1>180 then
    begin
        Yn:=Round(253-(K1-180)*0.65*0.5);
        ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(150,210,150),1,0);
    end
else
    begin
        Yn:=Round(20+(180-K1)*0.65*0.5);
        ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(150,210,150),1,0);
    end;

if K2>180 then
    begin
        Xn:=Round(353+(K2-180)*0.65*0.5);
        ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,253{371},RGB(250,150,150),1,0);
        Yn:=Round(488-(K2-180)*0.65*0.5);
        ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(250,150,150),1,0);
    end
else
    begin
        Xn:=Round(587-(180-K2)*0.65*0.5);
        ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,253{371},RGB(250,150,150),1,0);
        Yn:=Round(253+(180-K2)*0.65*0.5);
        ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(250,150,150),1,0);
    end;

```

```

end;

(*if K3>180 then
begin
Yn:=Round(488-(K3-180)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(150,150,250),1,0);
end
else
begin
Yn:=Round(253+(180-K3)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(150,150,250),1,0);
end;*)

if K3>180 then
begin
Xn:=Round(120+(K3-180)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,253{371},RGB(150,150,250),1,0);
Xn:=Round(353+(K3-180)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,253{137},Xn,488{371},RGB(150,150,250),1,0);
end
else
begin
Xn:=Round(353-(180-K3)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,253{371},RGB(150,150,250),1,0);
Xn:=Round(587-(180-K3)*0.65*0.5);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,253{137},Xn,488{371},RGB(150,150,250),1,0);
end;

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Brush.Style:=bsClear;
KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(361,225,'Dmin12= '+StF);

KotVot(K1,K3,V1,V3,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(130,225,'Dmin13= '+StF);

KotVot(K2,K3,V2,V3,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(361,455,'Dmin23= '+StF);
end;

if K1>K1n then Str(Abs(K1-K1n),StF)
else Str(360-Abs(Cour(K1-K1n)),StF);

```

```

Panel3.Caption:='DeltK1= '+StF;

if K2>K2n then Str(Abs(K2-K2n),StF)
else Str(360-Abs(Cour(K2-K2n)),StF);
Panel4.Caption:='DeltK2= '+StF;

if K3>K3n then Str(Abs(K3-K3n),StF)
else Str(360-Abs(Cour(K3-K3n)),StF);
Panel5.Caption:='DeltK1= '+StF;

end;
3: begin
  if IndScroll=1 then
    begin
      K1:=ScrollPos;
      Str(Round(K1),StF);
      Button3.Caption:='K1 = '+StF;
    end;
  if IndScroll=2 then
    begin
      K2:=ScrollPos;
      Str(Round(K2),StF);
      Button4.Caption:='K2 = '+StF;
    end;
  if IndScroll=3 then
    begin
      K3:=ScrollPos;
      Str(Round(K3),StF);
      Button5.Caption:='K3 = '+StF;
    end;
  if IndScroll=4 then
    begin
      K4:=ScrollPos;
      Str(Round(K4),StF);
      Button6.Caption:='K4 = '+StF;
    end;

  Image1.Canvas.CopyRect(Rect(45,50,660,460),
  ShowBmp.Canvas,Rect(45,50,660,460));

  Yn:=Round(204-0.423*K1*0.65);
  ColorLine(ShowBmp,Image1,54,Yn,646,Yn,RGB(10,200,10),1,0);
  Xn:=Round(103+0.423*K2*0.65);
  ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,255{452},RGB(250,10,10),1,0);
  Yn:=Round(403-0.423*K2*0.65);
  ColorLine(ShowBmp,Image1,449,Yn,646,Yn,RGB(250,10,10),1,0);
  Xn:=Round(301+0.423*K2*0.65);
  ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,255{57},Xn,452,RGB(10,10,250),1,0);

```

```

Xn:=Round(103+0.423*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,255,Xn,452,RGB(10,10,250),1,0);

Xn:=Round(301+0.423*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(10,10,250),1,0);
Yn:=Round(403-0.423*K2*K3*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,54,Yn,251,Yn,RGB(10,10,250),1,0);
Xn:=Round(499+0.423*K4*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,10,250),1,0);
Yn:=Round(403-0.423*K4*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,251,Yn,449,Yn,RGB(250,10,250),1,0);

if K1>180 then
  begin
    Yn:=Round(255-(K1-180)*0.65*0.423);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,54,Yn,646,Yn,RGB(150,200,150),1,0);
  end
else
  begin
    Yn:=Round(57+(180-K1)*0.65*0.423);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,54,Yn,646,Yn,RGB(150,200,150),1,0);
  end;

if K2>180 then
  begin
    Xn:=Round(53+(K2-180)*0.65*0.423);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,150,150),1,0);
    Yn:=Round(453-0.423*(K2-180)*0.65);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,449,Yn,646,Yn,RGB(250,150,150),1,0);
  end
else
  begin
    Xn:=Round(251-(180-K2)*0.65*0.423);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,150,150),1,0);
    Yn:=Round(256+0.423*(180-K2)*0.65);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,449,Yn,646,Yn,RGB(250,150,150),1,0);
  end;

if K3>180 then
  begin
    Xn:=Round(251+(K3-180)*0.65*0.423);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(150,150,250),1,0);
    Yn:=Round(453-0.423*(K3-180)*0.65);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,53,Yn,251,Yn,RGB(150,150,250),1,0);
  end
else
  begin
    Xn:=Round(449-(180-K3)*0.65*0.423);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(150,150,250),1,0);
    Yn:=Round(256+0.423*(180-K3)*0.65);
    ColorLine(ShowBmp,Image1,53,Yn,251,Yn,RGB(150,150,250),1,0);
  end;

```

```

if K4>180 then
  begin
    Xn:=Round(449+(K4-180)*0.65*0.423);
    ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,150,250),1,0);
    Yn:=Round(453-0.423*(K4-180)*0.65);
    ColorLine>ShowBmp,Image1,251,Yn,449,Yn,RGB(250,150,250),1,0);
  end
else
  begin
    Xn:=Round(646-(180-K4)*0.65*0.423);
    ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,57,Xn,452,RGB(250,150,250),1,0);
    Yn:=Round(256+0.423*(180-K4)*0.65);
    ColorLine>ShowBmp,Image1,251,Yn,449,Yn,RGB(250,150,250),1,0);
  end;

with Image1.Canvas do
  begin
    Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
    Font.Size:=10;
    Brush.Style:=bsClear;
    KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);
    Lm:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
    StF:=FloatToStr(Lm);
    TextOut(59,232,'Dmin12= '+StF);

    KotVot(K1,K3,V1,V3,Kot,Vot);
    Lm:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
    StF:=FloatToStr(Lm);
    TextOut(258,232,'Dmin13= '+StF);

    KotVot(K1,K4,V1,V4,Kot,Vot);
    Lm:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
    StF:=FloatToStr(Lm);
    TextOut(456,232,'Dmin14= '+StF);

    KotVot(K3,K2,V3,V2,Kot,Vot);
    Lm:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
    StF:=FloatToStr(Lm);
    TextOut(59,428,'Dmin23= '+StF);

    KotVot(K3,K4,V3,V4,Kot,Vot);
    Lm:=Abs(D34*sin((alf34-Kot)/57.3));
    StF:=FloatToStr(Lm);
    TextOut(258,428,'Dmin34= '+StF);

    KotVot(K2,K4,V2,V4,Kot,Vot);
    Lm:=Abs(D24*sin((alf24-Kot)/57.3));
    StF:=FloatToStr(Lm);
    TextOut(456,428,'Dmin24= '+StF);
  end;

```



```

    end;

    end;          { case }
end;
end;

procedure TForm1.Image1Click(Sender: TObject);
var
  StB,StC : string[4];
  K1c,K2c : Integer;
  V1c,Xvsv,Yvsv,Xtv,Ytv,Dva,alfva,Dvp,alfvp : real;

begin
if IndCtr>0 then
  begin
    ColorRectBor(ShowBmp,Image1,424+176,54,482+176,72,RGB(255,255,255),
      RGB(255,255,255),0);
    ColorRectBor(ShowBmp,Image1,424+176,74,482+176,92,RGB(255,255,255),
      RGB(255,255,255),0);
    ColorRectBor(ShowBmp,Image1,424+176,94,482+176,112,RGB(255,255,255),
      RGB(255,255,255),0);
    ColorRectBor(ShowBmp,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<488) then
  begin
    {if Ycn<137 then K1c:=Round((137-Ycn)/0.65)
    else
      begin
        if Ycn<371 then K1c:=Round((371-Ycn)/0.65)
        else K1:=Round(360+(371-Ycn)/0.65);
        end;}

    V1c:=(Xcn-120)/13;
    K1c:=Cour(Round( {90+alf} K1+(254-Ycn)/0.8667));

    {if Xcn<237 then K2c:=Round(360-(237-Xcn)/0.65)
    else
      begin
        if Xcn<471 then K2c:=Round((Xcn-237)/0.65)
        else K2c:=Round((Xcn-471)/0.65);
        end;}

    KotVot(K1c,K2,V1c,V2,Kot,Vot);
    case IndCtr of
    1: begin

      Lm:=Abs(Disn*sin((alfn-Kot)/57.3));
    end;

```

2: begin

```

    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;

```

```

    Xvsv:=Xvst+Sa*sin(K1c/57.3);
    Yvsv:=Yvst+Sa*cos(K1c/57.3);
    Xtv:=Xtt+V2*(taua/3600)*sin(K2/57.3);
    Ytv:=Ytt+V2*(taua/3600)*cos(K2/57.3);

```

```

    Dva:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
    alfva:=Pelg(Xtv-Xvsv,Ytv-Yvsv);
    Lm:=Abs(Dva*sin((alfva-Kot)/57.3));
    end;

```

3: begin

```

    taup:=1.1*M*(V1/V1c-1)/(0.514*V1*myu);
    Sp:=1.1*M*ln(Sqr(V1/V1c))/(2*myu);
    Sp:=Sp/1852;

```

```

    Xvsv:=Xvst+Sp*sin(K1c/57.3);
    Yvsv:=Yvst+Sp*cos(K1c/57.3);
    Xtv:=Xtt+V2*(taup/3600)*sin(K2/57.3);
    Ytv:=Ytt+V2*(taup/3600)*cos(K2/57.3);

```

```

    Dvp:=Distn(Xvsv-Xtv,Yvsv-Ytv);
    alfvp:=Pelg(Xtv-Xvsv,Ytv-Yvsv);
    Lm:=Abs(Dvp*sin((alfvp-Kot)/57.3));
    end;
    end;

```

if IndCtr>0 then

begin

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));
    Str(K1c,StB);
    TextOut(430+176,55,'K1= '+StB);
    StC:=FloatToStr(V1c);
    TextOut(430+176,75,'V1= '+StC);
    Str(Round(Kot),StB);
    TextOut(430+176,95,'Kot= '+StB);

```

```

    StC:=FloatToStr(Lm);
    TextOut(430+176,115,'Lm= '+StC);
    end;

```

```

    end;
end;

end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);    { OK }
label 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12;
var
Xn1,Yn1,Xk1,Yk1,Xn2,Yn2,Xk2,Yk2,K11,K12,Nb,Ne,Xt,Yt: word;
Scale : real;
StC : string[3];

HoldTyp : byte;

i,j,k,Ncn,Ncno,No,Ns,Vv,Vc,Xmp,Ymp,Xmd,Ymd : word;
Xtr,Ytr,Ztr,Xs,Ys,Xcr,Ycr,K2o,K11o,K12o,K21o{,gam1,gam2} : Integer;
Gr,Gr1,Gr2,Gr3 : Pt;
Grs,Grs1 : Pt1;
StD : string[3];
StF : string[4];
Vm1,Vm2,Vmx,Vt,dV,K1mx,K1mn : real;

begin
IndOK:=IndOK+1;
if IndOK=1 then
begin
{ScrollBar1.Enabled:=True;}
Button1.Enabled:=False;
Button3.Visible:=True;
Button3.Caption:='A12';
Button4.Visible:=True;
Button4.Caption:='D12';
Button5.Visible:=True;
Button6.Visible:=True;
Panel1.Visible:=True;
Panel2.Visible:=True;
Panel9.Visible:=True;
Panel10.Visible:=True;
Panel20.Visible:=True;
Str(K1n,StD);
Str(V1,StC);
Panel9.Caption:='1 K1='+StD+' V1='+StC;
Str(K2n,StD);
Str(V2,StC);
Panel10.Caption:='2 K2='+StD+' V2='+StC;

case IndVes of
1: begin
Str(Round(alf),StD);
Panel1.Caption:='A= '+StD;
StD:=FloatToStr(D);

```

```

Panel2.Caption:='D= '+StD;
{K1:=138; K2:=317; V1:=15; V2:=20;}
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Yvs-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xvs,Yvs,Xvs+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Yvs-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);
end;
2: begin
Panel11.Visible:=True;
Panel12.Visible:=True;
Panel21.Visible:=True;
Panel3.Visible:=True;
Panel4.Visible:=True;

Str(Round(alf12),StD);
Panel1.Caption:='A12= '+StD;
StD:=FloatToStr(D12);
Panel2.Caption:='D12= '+StD;
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

{alf23:=Pelg(X2-X3,Y2-Y3);} alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);;
Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;

Str(Round(alf13),StD);
Panel3.Caption:='A13= '+StD;
StD:=FloatToStr(D13);
Panel4.Caption:='D13= '+StD;
Str(K3n,StD);
Str(V3,StC);
Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
KotVot(Round(K2n),Round(K3n),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;

```

```

KotVot(Round(K1n),Round(K3n),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
{StD:=FloatToStr(Dmin13);
Panel21.Caption:='Dmin13 = '+StD;}
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

end;
3: begin
Panel11.Visible:=True;
Panel12.Visible:=True;
Panel13.Visible:=True;
Panel14.Visible:=True;
Panel15.Visible:=True;
Panel21.Visible:=True;
Panel22.Visible:=True;
Panel3.Visible:=True;
Panel4.Visible:=True;
Panel5.Visible:=True;
Panel6.Visible:=True;

Str(Round(alf12),StD);
Panel1.Caption:='A12= '+StD;
StD:=FloatToStr(D12);
Panel2.Caption:='D12= '+StD;
KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin12);
Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
if Dmin12<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

{alf23:=Pelg(X2-X3,Y2-Y3);} alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);
Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;
Str(Round(alf13),StD);
Panel3.Caption:='A13= '+StD;
StD:=FloatToStr(D13);
Panel4.Caption:='D13= '+StD;

```

```

Str(K3n,StD);
Str(V3,StC);
Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
KotVot(Round(K2),Round(K3),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;

KotVot(Round(K1),Round(K3),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
{StD:=FloatToStr(Dmin13);
Panel21.Caption:='Dmin13 = '+StD;}
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

Str(Round(alf14),StD);
Panel5.Caption:='A14= '+StD;
StD:=FloatToStr(D14);
Panel6.Caption:='D14= '+StD;
Str(K4n,StD);
Str(V4,StC);
Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;
(*{alf23:=Pelg(X2-X3,Y2-Y3);} alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);*)
alf24:=Pelg(X4-X2,Y2-Y4);
D24:=Distn((X2-280)/50-(X4-280)/50,(Y2-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf24),StD);
StF:=FloatToStr(D24);
Panel14.Caption:='A24='+StD+' D24='+StF;
(*{alf23:=Pelg(X2-X3,Y2-Y3);} alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);*)
alf34:=Pelg(X4-X3,Y3-Y4);
D34:=Distn((X3-280)/50-(X4-280)/50,(Y3-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);
Panel15.Caption:='A34='+StD+' D34='+StF;

KotVot(Round(K3),Round(K4),Round(V3),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin34:=Abs(D34*sin((alf34-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin34);
Panel22.Caption:='Dmin34 = '+StD;

KotVot(Round(K1),Round(K4),Round(V1),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin14:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
{StD:=FloatToStr(Dmin13);
Panel21.Caption:='Dmin13 = '+StD;}
if Dmin14<=Dd then

```

```

ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
  Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

end;
4: begin
  Panel11.Visible:=True;
  Panel12.Visible:=True;
  Panel13.Visible:=True;
  Panel14.Visible:=True;
  Panel15.Visible:=True;
  Panel16.Visible:=True;
  Panel17.Visible:=True;
  Panel18.Visible:=True;
  Panel19.Visible:=True;
  Panel21.Visible:=True;
  Panel22.Visible:=True;
  Panel23.Visible:=True;
  Panel3.Visible:=True;
  Panel4.Visible:=True;
  Panel5.Visible:=True;
  Panel6.Visible:=True;
  Panel7.Visible:=True;
  Panel8.Visible:=True;

  Str(Round(alf12),StD);
  Panel1.Caption:='A12= '+StD;
  StD:=FloatToStr(D12);
  Panel2.Caption:='D12= '+StD;
  KotVot(Round(K1),Round(K2),Round(V1),Round(V2),Kot,Vot);
  Dmin12:=Abs(D12*sin((alf12-Kot)/57.3));
  StD:=FloatToStr(Dmin12);
  Panel20.Caption:='Dmin12 = '+StD;
  if Dmin12<=Dd then
    ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
      Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
  else
    ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
      Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

  alf23:=Pelg(X3-X2,Y2-Y3);
  D23:=Distn((X2-280)/50-(X3-280)/50,(Y2-280)/50-(Y3-280)/50);
  Str(Round(alf23),StD);
  StF:=FloatToStr(D23);
  Panel12.Caption:='A23='+StD+' D23='+StF;
  Str(Round(alf13),StD);
  Panel3.Caption:='A13= '+StD;
  StD:=FloatToStr(D13);
  Panel4.Caption:='D13= '+StD;
  Str(K3n,StD);

```

```

Str(V3,StC);
Panel11.Caption:='3 K3='+StD+' V3='+StC;
KotVot(Round(K2),Round(K3),Round(V2),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin23:=Abs(D23*sin((alf23-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin23);
Panel21.Caption:='Dmin23 = '+StD;

KotVot(Round(K1),Round(K3),Round(V1),Round(V3),Kot,Vot);
Dmin13:=Abs(D13*sin((alf13-Kot)/57.3));
{StD:=FloatToStr(Dmin13);
Panel21.Caption:='Dmin13 = '+StD;}
if Dmin13<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

Str(Round(alf15),StD);
Panel7.Caption:='A15= '+StD;
StD:=FloatToStr(D15);
Panel8.Caption:='D15= '+StD;
Str(K5n,StD);
Str(V5,StC);
Panel16.Caption:='5 K5='+StD+' V5='+StC;

alf25:=Pelg(X5-X2,Y2-Y5);
D25:=Distn((X2-280)/50-(X5-280)/50,(Y2-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf25),StD);
StF:=FloatToStr(D25);;
Panel17.Caption:='A24='+StD+' D24='+StF;

alf35:=Pelg(X5-X3,Y3-Y5);
D35:=Distn((X3-280)/50-(X5-280)/50,(Y3-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf35),StD);
StF:=FloatToStr(D35);;
Panel18.Caption:='A35='+StD+' D35='+StF;

alf45:=Pelg(X5-X4,Y4-Y5);
D45:=Distn((X4-280)/50-(X5-280)/50,(Y4-280)/50-(Y5-280)/50);
Str(Round(alf45),StD);
StF:=FloatToStr(D45);;
Panel19.Caption:='A45='+StD+' D45='+StF;

KotVot(Round(K4),Round(K5),Round(V4),Round(V5),Kot,Vot);
Dmin45:=Abs(D45*sin((alf45-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin45);
Panel23.Caption:='Dmin45 = '+StD;

```



```

KotVot(Round(K1),Round(K4),Round(V1),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin14:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
{StD:=FloatToStr(Dmin13);
Panel21.Caption:='Dmin13 = '+StD;}
if Dmin14<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

Str(Round(alf14),StD);
Panel5.Caption:='A14= '+StD;
StD:=FloatToStr(D14);
Panel6.Caption:='D14= '+StD;
Str(K4n,StD);
Str(V4,StC);
Panel13.Caption:='4 K4='+StD+' V4='+StC;

alf24:=Pelg(X4-X2,Y2-Y4);
D24:=Distn((X2-280)/50-(X4-280)/50,(Y2-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf24),StD);
StF:=FloatToStr(D24);
Panel14.Caption:='A24='+StD+' D24='+StF;

alf34:=Pelg(X4-X3,Y3-Y4);
D34:=Distn((X3-280)/50-(X4-280)/50,(Y3-280)/50-(Y4-280)/50);
Str(Round(alf23),StD);
StF:=FloatToStr(D23);
Panel15.Caption:='A34='+StD+' D34='+StF;

KotVot(Round(K3),Round(K4),Round(V3),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin34:=Abs(D34*sin((alf34-Kot)/57.3));
StD:=FloatToStr(Dmin34);
Panel22.Caption:='Dmin34 = '+StD;

KotVot(Round(K1),Round(K4),Round(V1),Round(V4),Kot,Vot);
Dmin14:=Abs(D14*sin((alf14-Kot)/57.3));
{StD:=FloatToStr(Dmin13);
Panel21.Caption:='Dmin13 = '+StD;}
if Dmin14<=Dd then
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(240,40,40),1,0)
else
ColorLine(ShowBmp,Image1,X1,Y1,X1+Round(200{*D}*sin(Kot/57.3)),
Y1-Round(200{*D}*cos(Kot/57.3)),RGB(140,40,140),1,0);

end;
```

```

    end;

end;

if IndOK=2 then
begin
  ScrollBar1.Enabled:= False;
  Panel1.Visible:=False;
  Panel2.Visible:=False;
  Panel3.Visible:=False;
  Panel4.Visible:=False;
  Panel5.Visible:=False;
  Panel6.Visible:=False;
  Panel7.Visible:=False;
  Panel8.Visible:=False;
  Panel9.Visible:=False;
  Panel10.Visible:=False;
  Panel11.Visible:=False;
  Panel12.Visible:=False;
  Panel13.Visible:=False;
  Panel14.Visible:=False;
  Panel15.Visible:=False;
  Panel16.Visible:=False;
  Panel17.Visible:=False;
  Panel18.Visible:=False;
  Panel19.Visible:=False;
  Panel20.Visible:=False;
  Panel21.Visible:=False;
  Panel22.Visible:=False;
  Panel23.Visible:=False;
  Button3.Visible:=False;
  Button4.Visible:=False;
  Button5.Visible:=False;
  Button6.Visible:=False;
  Button2.Enabled:=False;

  IndCtr:=1;
  case IndVes of
1: begin
    {Button3.Visible:=True;
    Button4.Visible:=True;
    Button3.Caption:='K1';
    Button4.Caption:='V1';

    Panel3.Visible:=True;
    Panel4.Visible:=True;
    Panel3.Caption:='Kot';
    Panel4.Caption:='Dmin';}

    {Button8.Visible:=True;}

```

```

ColorRect>ShowBmp,Image1,0,4,672,512,RGB(255,255,255),0);
{ColorRect>ShowBmp,Image1,120,20,588,488,RGB(240,240,255),0);}

ColorRect>ShowBmp,Image1,120,20,588,488,RGB(240,240,255),0);
{ColorRectBor>ShowBmp,Image1,237,137,471,371,RGB(255,255,255),
  RGB(210,210,210),0);}

for i:=0 to 35 do
ColorLine>ShowBmp,Image1,121,20+13*i,587,20+13*i,RGB(210,210,210),1,0);
for i:=0 to 35 do
ColorLine>ShowBmp,Image1,120+13*(i+1),20,120+13*(i+1),487,RGB(210,210,210),1,0);

ColorLine>ShowBmp,Image1,121,254,587,254,RGB(20,20,20),1,0);

Xn:=Round(120+V1*13);
Yn:=254-Round(0.8667*(K1-Xn1));
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,488{371},RGB(120,20,20),1,0);
{ColorLine>ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(20,120,220),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));

{alf:=130; K1:=150;V1:=15; V2:=20; D:=3; Dd:=1.0;
K2:=315;} 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(255,155,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));

{Xn:=Cour(Round(alf+90));}
Xn:=Cour(Round(K1));
Str(Xn,StC);
TextOut(95,247,StC);

for i:=1 to 9 do
begin
Str(Cour(Xn+30*i),StC);
TextOut(95,247-26*i,StC);
end;

for i:=1 to 9 do
begin

```

```

Str(Cour(Xn-30*i),StC);
TextOut(95,247+26*i,StC);
end;

for i:=0 to 18 do
begin
Str(2*i,StC);
TextOut(114+26*i,495,StC)
end;

SBmp.Canvas.CopyRect(Rect(90,15,590,495),
Image1.Canvas,Rect(90,15,590,495));

dV:=V2*cos((K2-alf)/57.3)-V1*cos((K1-alf)/57.3);
if dV>=0 then
begin
Brush.Style:=bsClear;
Font.Color:=TColor(RGB(25,150,10));
TextOut(290,205,'ÑÓÄÀ ÓÄÄËßÐÒÑß');
goto 1;
end;

if D>=Dd then
begin
gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D));
gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));
end
else
begin
gam1:=Round(alf+Arcsin((0.5*Dd)/D));
gam2:=Round(alf -Arcsin((0.5*Dd)/D));
end;
Vm1:=Abs(V2*sin((K2-gam1)/57.3)); Vm2:=Abs(V2*sin((K2-gam2)/57.3));
Vmx:=30;

{Xn1:=Round(alf+90);} Xn1:=Round(K1); Ne:=0; Nb:=0; Ncn:=0;

KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));

for i:=0 to 360 do
begin
Vt:=0.1*i;
if (Vt>=Vm1) and (Vt<=Vmx)then
begin
if IndBeg=0 then
begin
IndBeg:=1; Nbg:=i;
end;
Nb:=Nb+1;
K11ta:=Cour(gam1+Round(arcsin(V2*sin((K2-gam1)/57.3)/Vt)));

```

```

K11t:=gam1+Round(arcsin(V2*sin((K2-gam1)/57.3)/Vt));
Xt1:=120+Round(Vt*13);
{if (K11t-Xn)>0 then Yt1:=255-Round(1.3*(K11t-Xn))
else Yt1:=255+Round(1.3*(K11t-Xn));}
Yt1:=254-Round({1.3}0.8667*(K11t-Xn1));
Gr[Nb].x:=Xt1; Gr[Nb].y:=Yt1;
if (Vt<V2) and (Lm<Dd) then
  begin
    K1mx:=K2-arcsin(Vt/V2);
    Yt1:=254-Round(0.8667*(K1mx-Xn1));
    if Yt1<98 then Yt1:=Yt1+312;
    if Yt1>=488 then Yt1:=487;
    Pen.Color:=TColor(RGB(190,15,15));
    Brush.Color:=TColor(RGB(255,25,25));
    {Ellipse(Xt1-1,Yt1-1,Xt1+1,Yt1+1);}
  end;

K21t:=gam1+180-Round(arcsin(V2*sin((K2-gam1)/57.3)/Vt));
Yt1:=254-Round({1.3}0.8667*(K21t-Xn1));
Gr1[Nb].x:=Xt1; Gr1[Nb].y:=Yt1;
if (Vt<V2) and (Lm<Dd) then
  begin
    K1mn:=K2+arcsin(Vt/V2);
    Yt1:=254-Round(0.8667*(K1mn-Xn1));
    if Yt1<98 then Yt1:=Yt1+312;
    if Yt1>=488 then Yt1:=487;
    Pen.Color:=TColor(RGB(15,15,190));
    Brush.Color:=TColor(RGB(25,25,255));
    {Ellipse(Xt1-1,Yt1-1,Xt1+1,Yt1+1);}
  end;
end;
if (Vt>=Vm2) and (Vt<=Vm3) then
  begin
    Ne:=Ne+1;
    {K12ta:=Cour(gam2+Round(arcsin(V2*sin((K2-gam2)/57.3)/Vt)));}
    K12t:=gam2+Round(arcsin(V2*sin((K2-gam2)/57.3)/Vt));
    Xt1:=120+Round(Vt*13);
    {if (K12t-Xn)>0 then Yt1:=255-Round(1.3*(K12t-Xn))
    else Yt1:=255+Round(1.3*(K12t-Xn));}
    Yt1:=254-Round({1.3}0.8667*(K12t-Xn1));
    {Pen.Color:=TColor(RGB(90,155,90));
    Brush.Color:=TColor(RGB(100,125,50));
    Ellipse(Xt1-1,Yt1-1,Xt1+1,Yt1+1);}
    Gr2[Ne].x:=Xt1; Gr2[Ne].y:=Yt1;
    K22t:=gam2+180-Round(arcsin(V2*sin((K2-gam2)/57.3)/Vt));
    Yt1:=254-Round(0.8667*(K22t-Xn1));
    {Pen.Color:=TColor(RGB(90,90,190));
    Brush.Color:=TColor(RGB(100,125,250));
    Ellipse(Xt1-1,Yt1-1,Xt1+1,Yt1+1);}
    Gr3[Ne].x:=Xt1; Gr3[Ne].y:=Yt1;
  end;

```

```

end;

Pen.Mode:=pmMask;

for i:=Nb to 360 do Gr[i]:=Gr[Nb];
Pen.Color:=TColor(RGB(255,25,25));
Polyline(Gr);
for i:=Ne to 360 do Gr2[i]:=Gr2[Ne];
Pen.Color:=TColor(RGB(25,155,22));
Polyline(Gr2);

for i:=1 to Nb do Grs[i]:=Gr[i];
for i:=Nb+1 to Nb+Ne do Grs[i]:=Gr2[Nb+Ne+1-i];
for i:=Nb+Ne to 720 do Grs[i]:=Grs[Nb+Ne];

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(255,225,225));

Polygon(Grs);

for i:=Nb to 360 do Gr1[i]:=Gr1[Nb];
Brush.Color:=TColor(RGB(200,225,255));
Pen.Color:=TColor(RGB(55,55,195));

{Polyline(Gr1);
for i:=Ne to 360 do Gr3[i]:=Gr3[Ne];
Polyline(Gr3);}

for i:=1 to Nb do Grs1[i]:=Gr1[i];
for i:=Nb+1 to Nb+Ne do Grs1[i]:=Gr3[Nb+Ne+1-i];
for i:=Nb+Ne to 720 do Grs1[i]:=Grs1[Nb+Ne];
{Polygon(Grs1);}

Pen.Mode:=pmCopy;
end;

(*Xn:=Round(120+V1*13);
Yn:=254-Round(0.8667*(K1-Xn1));
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,20{137},Xn,488{371},RGB(120,20,20),1,0);
ColorLine>ShowBmp,Image1,120{237},Yn,588{471},Yn,RGB(20,120,220),1,0);*)

(*ShowBmp.Canvas.CopyRect(Rect({70,5,670,510}80,10,600,509),
Image1.Canvas,Rect({70,5,670,510}80,10,600,509));*)
{K1:=K1n; K2:=K2n;}

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Brush.Style:=bsClear;
{KotVot(K1,K2,V1,V2,Kot,Vot);

```

```

Lm:=Abs(D*sin((alf-Kot)/57.3));}
StF:=FloatToStr(Lm);
TextOut(515,455,'Dmin= '+StF);
if Lm>Dd then TextOut(135,455,'ÑÈÒÓÀÖÈß ÎÀÑÎÎÂ ÎÁËÈÆÁÏÈß ÎÒÑÓÒÑÒÁÓÀÒ')
else
  begin
    Font.Color:=TColor(RGB(255,10,10));
    TextOut(135,455,'ÑÁËÈÆÁÏÈÁ ÑÓÃÎÂ ÎÀÑÎÎÂ');
    Font.Color:=TColor(RGB(10,10,255));
    TextOut(135,45,'ÂÂÂÄÈÒÁ ÇÌÀ×ÁÏÈÁ ty ÍÁ ÌÁÍÁÁ 90 Ñ');
    {Button7.Visible:=True;
    Button7.Caption:='Situation';}
  end;
end;

Button9.Visible:=True;

Disn:=D; alfn:=alf; alf0:=alf; D0:=D;

1: end;

2: begin
  Button3.Visible:=True;
  Button4.Visible:=True;
  Button5.Visible:=True;
  Button3.Caption:='K1';
  Button4.Caption:='K2';
  Button5.Caption:='K3';

  Panel3.Visible:=True;
  Panel4.Visible:=True;
  Panel5.Visible:=True;
  Panel3.Caption:='DeltK1';
  Panel4.Caption:='DeltK2';
  Panel5.Caption:='DeltK3';
  Button8.Visible:=True;

  ColorRect>ShowBmp,Image1,0,4,672,512,RGB(255,255,255),0);
  ColorRect>ShowBmp,Image1,120,20,588,488,RGB(240,240,255),0);

  ColorRectBor>ShowBmp,Image1,179,79,294,194,RGB(255,255,255),
    RGB(205,205,255),0);
  ColorRectBor>ShowBmp,Image1,412,79,528,194,RGB(255,255,255),
    RGB(205,205,255),0);
  ColorRectBor>ShowBmp,Image1,412,312,528,429,RGB(255,255,255),
    RGB(205,205,255),0);

  for i:=1 to 35 do
    ColorLine>ShowBmp,Image1,121,20+13*i,587,20+13*i,RGB(210,210,210),1,0);
  for i:=0 to 35 do
    ColorLine>ShowBmp,Image1,120+13*(i+1),20,120+13*(i+1),487,RGB(210,210,210),1,0);

```

```
ColorLine(ShowBmp,Image1,120,253,587,253,RGB(10,20,20),1,0);
ColorLine(ShowBmp,Image1,353,20,353,487,RGB(10,20,20),1,0);
```

```
with Image1.Canvas do
```

```
begin
  Font.Color:=TColor(RGB(20,30,80));
  Font.Size:=8;
  Font.Style:=[];
  Pen.Color:=TColor(RGB(255,155,155));
  Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
```

```
for i:=0 to 6 do
begin
  Ns:=180+120*i;
  if Ns>=720 then Ns:=Ns-720
  else
    begin
      if Ns>=360 then Ns:=Ns-360;
    end;
  Str(Ns,StC);
  TextOut(110+39*i,495,StC);
end;
```

```
for i:=1 to 6 do
begin
  Ns:=180+120*i;
  if Ns>=720 then Ns:=Ns-720
  else
    begin
      if Ns>=360 then Ns:=Ns-360;
    end;
  Str(Ns,StC);
  TextOut(343+39*i,495,StC);
end;
```

```
for i:=0 to 6 do
begin
  Ns:=180+120*i;
  if Ns>=720 then Ns:=Ns-720
  else
    begin
      if Ns>=360 then Ns:=Ns-360;
    end;
  Str(Ns,StC);
  TextOut(95,480-39*i,StC);
end;
```

```
for i:=1 to 6 do
begin
  Ns:=180+120*i;
  if Ns>=720 then Ns:=Ns-720
  else
```



```

begin
  if Ns>=360 then Ns:=Ns-360;
  end;
  Str(Ns,StC);
  TextOut(95,253-39*i,StC);
  end;

for k:=1 to 3 do
  begin
    case k of
      1: begin
          Vv:=V1; Vc:=V2; Xmp:=412; Ymp:=194; D:=D12; alf:=alf12;
          Xmd:=587{467}; Ymd:=255{123}; Xmd1:=353; Ymd1:=20;
          end;
      2: begin
          Vv:=V3; Vc:=V2; Xmp:=412; Ymp:=429; D:=D23; alf:=alf23;
          Xmd:=557{467}; Ymd:=461{372}; Xmd1:=385; Ymd1:=284;
          end;
      3: begin
          Vv:=V1; Vc:=V3; Xmp:=179; Ymp:=194; D:=D13; alf:=alf13;
          Xmd:=353{237}; Ymd:=255{123}; Xmd1:=120; Ymd:=20;
          end;
    end;
  end;

  {Mnx:=Grs[1].x; Mny:=Grs[1].y;
  for i:=1 to 720 do
    begin
      if Mnx>Grs[i].x then Mnx:=Grs[i].x;
      if Mny>Grs[i].y then Mny:=Grs[i].y;
      end;

  if Mnx>Xmd then
    begin
      for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x-117;
      for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
      end;

  if Mny<Ymd then
    begin
      for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y+117;
      for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
      end;}

  if Vc<Vv then
    begin
      Ncn:=0;
      gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));

  for i:=0 to 360 do

```

```

begin
K2o:=Round(gam1+i);
K2:=Cour(K2o);

K11o:=Round(gam1+Arcsin((Vc/Vv)*sin((K2-gam1)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,Vv,Vc,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
Ncn:=Ncn+1;
Xt:=Round(Xmp{412}+0.5*K2o*0.65);
Yt:=Round(Ymp{194}-0.5*K11o*0.65);

Gr[i].x:=Round(Xmp{412}+0.5*K2o*0.65);
Gr[i].y:=Round(Ymp{194}-0.5*K11o*0.65);
Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
{Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);}
Grs[Ncn].x:=Gr[i].x;
Grs[Ncn].y:=Gr[i].y;
end;

end;
Grs[Ncn+1]:=Grs[Ncn];

Ncno:=0;

for i:=0 to 360 do
begin
K2o:=Round(gam2+i);
K2:=Cour(K2o);

K11o:=Round(gam2+Arcsin((Vc/Vv)*sin((K2-gam2)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,Vv,Vc,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
begin
if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
Gr1[i].x:=Round(Xmp{412}+0.5*K2o*0.65);
Gr1[i].y:=Round(Ymp{194}-0.5*K11o*0.65);
Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));
{Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1); }
Grs[2*Ncn+1-Ncno].x:=Gr1[i].x;
Grs[2*Ncn+1-Ncno].y:=Gr1[i].y;
No:=2*Ncn+1-Ncno;
end;

end;

end;

for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn+1];

Mnx:=Grs[1].x; Mny:=Grs[1].y;

```

```

Msx:=Grs[1].x; Msy:=Grs[1].y;
for i:=1 to 720 do
begin
if Mnx<Grs[i].x then Mnx:=Grs[i].x;
if Mny<Grs[i].y then Mny:=Grs[i].y;
if Msx>Grs[i].x then Msx:=Grs[i].x;
if Msy>Grs[i].y then Msy:=Grs[i].y;
end;

if Mnx>Xmd then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x-117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
end;

if Mny>Ymd then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y-117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
end;

if Msx<Xmd1 then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x+117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
end;

if Msy<Ymd1 then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y+117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
end;

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(215,95,95));
Polygon(Grs);

Pen.Mode:=pmCopy;

for i:=Ncn to 360 do Gr[i]:=Gr[Ncn];
for i:=Ncn to 360 do Gr1[i]:=Gr1[Ncn];

Mnx:=Gr[1].x; Mny:=Gr[1].y;
Mn1x:=Gr1[1].x; Mn1y:=Gr1[1].y;
Msx:=Gr[1].x; Msy:=Gr[1].y;
Ms1x:=Gr1[1].x; Ms1y:=Gr1[1].y;

for i:=1 to 360 do
begin
if Mnx<Gr[i].x then Mnx:=Gr[i].x;

```

```

if Mny<Gr[i].y then Mny:=Gr[i].y;
if Mn1x<Gr1[i].x then Mn1x:=Gr1[i].x;
if Mn1y<Gr1[i].y then Mn1y:=Gr1[i].y;

```

```

if Msx>Gr[i].x then Msx:=Gr[i].x;
if Msy>Gr[i].y then Msy:=Gr[i].y;
if Ms1x>Gr1[i].x then Ms1x:=Gr1[i].x;
if Ms1y>Gr1[i].y then Ms1y:=Gr1[i].y;
end;

```

```

if (Mnx>Xmd) or (Mn1x>Xmd) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].x:=Gr[i].x-117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].x:=Grs[i].x;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].x:=Gr1[i].x-117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].x:=Grs1[i].x;
end;

```

```

if (Mny>Ymd) or (Mn1y>Ymd) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].y:=Gr[i].y-117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].y:=Grs[i].y;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].y:=Gr1[i].y-117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].y:=Grs1[i].y;
end;

```

```

if (Msx<Xmd1) or (Ms1x<Xmd1) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].x:=Gr[i].x+117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].x:=Grs[i].x;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].x:=Gr1[i].x+117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].x:=Grs1[i].x;
end;

```

```

if (Msy<Ymd1) or (Ms1y<Ymd1) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].y:=Gr[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].y:=Grs[i].y;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].y:=Gr1[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].y:=Grs1[i].y;
end;

```

```

Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));

```

```

for i:=1 to Ncn do
Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);

```

```

Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));

```

```

for i:=1 to Ncno do
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);

```

```

{Pen.Color:=TColor(RGB(155,195,155));

Polyline(Gr);
Polyline(Gr1);}

end;

if Vc=Vv then
begin
Ncn:=0;
gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));

for i:=0 to 360 do
begin
K2o:=Round(gam1+i);
K2:=Cour(K2o);

K11o:=Round(180+2*gam1-K2o);
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,Vv,Vc,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
Ncn:=Ncn+1;
Gr[i].x:=Round(Xmp{412}+0.5*K2o*0.65);
Gr[i].y:=Round(Ymp{194}-0.5*K11o*0.65);
Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
{Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);}
Grs[Ncn].x:=Gr[i].x;
Grs[Ncn].y:=Gr[i].y;
end;

end;

Ncno:=0;

for i:=0 to 360 do
begin
K2o:=Round(gam2+i);
K2:=Cour(K2o);

K11o:=Round(180+2*gam2-K2o);
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,Vv,Vc,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
Gr1[i].x:=Round(Xmp{412}+0.5*K2o*0.65);
Gr1[i].y:=Round(Ymp{194}-0.5*K11o*0.65);
Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));

```

```

    {Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);}
    Grs[2*Ncn+1-Ncno].x:=Gr1[i].x;
    Grs[2*Ncn+1-Ncno].y:=Gr1[i].y;
    No:=2*Ncn+1-Ncno;
    end;

end;

for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn];

Mnx:=Grs[1].x; Mny:=Grs[1].y;
Msx:=Grs[1].x; Msy:=Grs[1].y;
for i:=1 to 720 do
    begin
        if Mnx<Grs[i].x then Mnx:=Grs[i].x;
        if Mny<Grs[i].y then Mny:=Grs[i].y;
        if Msx>Grs[i].x then Msx:=Grs[i].x;
        if Msy>Grs[i].y then Msy:=Grs[i].y;
    end;

if Mnx>Xmd then
    begin
        for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x-117;
        for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
    end;

if Mny>Ymd then
    begin
        for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y-117;
        for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
    end;

if Msx<Xmd1 then
    begin
        for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x+117;
        for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
    end;

if Msy<Ymd1 then
    begin
        for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y+117;
        for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
    end;

(*Mnx:=Grs[1].x; Mny:=Grs[1].y;
for i:=1 to 720 do
    begin
        if Mnx>Grs[i].x then Mnx:=Grs[i].x;
        if Mny>Grs[i].y then Mny:=Grs[i].y;
    end;

if Mnx>Xmd then

```

```

begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x-117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
end;

{if Mny<Ymd then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y+117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
end;}* )

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor( RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor( RGB(215,95,95));
Polygon(Grs);

Pen.Mode:=pmCopy;
{Pen.Color:=TColor( RGB(155,195,155));

Polyline(Gr);
Polyline(Gr1);}

for i:=Ncn to 360 do Gr[i]:=Gr[Ncn];
for i:=Ncn to 360 do Gr1[i]:=Gr1[Ncn];

Mnx:=Gr[1].x; Mny:=Gr[1].y;
Mn1x:=Gr1[1].x; Mn1y:=Gr1[1].y;
Msx:=Gr[1].x; Msy:=Gr[1].y;
Ms1x:=Gr1[1].x; Ms1y:=Gr1[1].y;

for i:=1 to 360 do
begin
if Mnx<Gr[i].x then Mnx:=Gr[i].x;
if Mny<Gr[i].y then Mny:=Gr[i].y;
if Mn1x<Gr1[i].x then Mn1x:=Gr1[i].x;
if Mn1y<Gr1[i].y then Mn1y:=Gr1[i].y;

if Msx>Gr[i].x then Msx:=Gr[i].x;
if Msy>Gr[i].y then Msy:=Gr[i].y;
if Ms1x>Gr1[i].x then Ms1x:=Gr1[i].x;
if Ms1y>Gr1[i].y then Ms1y:=Gr1[i].y;
end;

if (Mnx>Xmd) or (Mn1x>Xmd) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].x:=Gr[i].x-117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].x:=Grs[i].x;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].x:=Gr1[i].x-117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].x:=Grs1[i].x;
end;

```

```

if (Mny>Ymd) or (Mnly>Ymd) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].y:=Gr[i].y-117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].y:=Grs[i].y;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].y:=Gr1[i].y-117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].y:=Grs1[i].y;
end;

```

```

if (Msx<Xmd1) or (Ms1x<Xmd1) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].x:=Gr[i].x+117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].x:=Grs[i].x;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].x:=Gr1[i].x+117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].x:=Grs1[i].x;
end;

```

```

if (Msy<Ymd1) or (Ms1y<Ymd1) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].y:=Gr[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].y:=Grs[i].y;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].y:=Gr1[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].y:=Grs1[i].y;
end;

```

```

(* Mnx:=Gr[1].x; Mny:=Gr[1].y;
Mn1x:=Gr1[1].x; Mn1y:=Gr1[1].y;
for i:=1 to 360 do
begin
if Mnx>Gr[i].x then Mnx:=Gr[i].x;
if Mny>Gr[i].y then Mny:=Gr[i].y;
if Mn1x>Gr1[i].x then Mn1x:=Gr1[i].x;
if Mn1y>Gr1[i].y then Mn1y:=Gr1[i].y;
end;

```

```

if (Mnx>Xmd) or (Mn1x>Xmd) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].x:=Gr[i].x-117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].x:=Grs[i].x;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].x:=Gr1[i].x-117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].x:=Grs1[i].x;
end;

```

```

{if (Mny<Ymd) or (Mn1y<Ymd) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].y:=Gr[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].y:=Grs[i].y;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].y:=Gr1[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].y:=Grs1[i].y;
end;}*)

```



```

Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));

for i:=1 to Ncn do
  Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);

Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));

for i:=1 to Ncno do
  Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);

end;

if Vc>Vv then
  begin
    Ncn:=0;
    gam1:=Round(alf+Arcsin(Dd/D)); gam2:=Round(alf -Arcsin(Dd/D));

    Nb:=Round(gam1+180-Arcsin(Vv/Vc)); Ne:=Round(gam1+Arcsin(Vv/Vc));

    if Nb<Ne then dN:=Ne-Nb
    else dN:=360-(Nb-Ne);

    for i:=0 to dN do
      begin
        K2o:=Round(gam1+180-Arcsin(Vv/Vc))+i;
        K2:=Cour(K2o);
        if (K2-gam1>180+Arcsin(Vv/Vc)) and (K2-gam1<360-Arcsin(Vv/Vc)) then goto 4;
        K11o:=Round(gam1+Arcsin((Vc/Vv)*sin((K2-gam1)/57.3)));
        K11:=Cour(K11o);
        KotVot(K11,K2,Vv,Vc,Kot1,Vot);
        if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
          begin
            Ncn:=Ncn+1;
            Gr[i].x:=Round(Xmp{412}+0.5*K2o*0.65);
            Gr[i].y:=Round(Ymp{194}-0.5*K11o*0.65);
            {Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));
            Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);}
            Grs[Ncn].x:=Gr[Ncn{i}].x;
            Grs[Ncn].y:=Gr[Ncn{i}].y;
          end;

4:   end;

for i:=Ncn to 360 do
  begin
    Gr[i].x:=Gr[Ncn-1].x;
    Gr[i].y:=Gr[Ncn-1].y;
  end;

Grs[Ncn+1]:=Grs[Ncn];

```

```

Nb:=Round(gam2+180-Arcsin(Vv/Vc));
Ne:=Round(gam2+Arcsin(Vv/Vc));

if Nb<Ne then dN:=Ne-Nb
else dN:=360-(Nb-Ne);

Ncno:=0;

for i:=0 to dN do
begin
K2o:=Round(gam2+180-Arcsin(Vv/Vc))+i;
K2:=Cour(K2o);
if (K2-gam2>180+Arcsin(Vv/Vc)) and (K2-gam2<360-Arcsin(Vv/Vc)) then goto 5;
K11o:=Round(gam2+Arcsin((Vc/Vv)*sin((K2-gam2)/57.3)));
K11:=Cour(K11o);
KotVot(K11,K2,Vv,Vc,Kot1,Vot);
if cos((Kot1-alf)/57.3)>0 then
begin
if i>0 then Ncno:=Ncno+1;
Gr1[i].x:=Round(Xmp{412}+0.5*K2o*0.65);
Gr1[i].y:=Round(Ymp{194}-0.5*K11o*0.65);
{Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);}
Grs[2*Ncn{+1}-Ncno].x:=Gr1[i].x;
Grs[2*Ncn{+1}-Ncno].y:=Gr1[i].y;
No:=2*Ncn{+1}-Ncno;
end;

5:  end;

for i:=Ncno to 360 do Gr1[i]:=Gr1[Ncno];

for i:=2*Ncn+1 to 720 do Grs[i]:=Grs[2*Ncn];

Mnx:=Grs[1].x; Mny:=Grs[1].y;
Msx:=Grs[1].x; Msy:=Grs[1].y;
for i:=1 to 720 do
begin
if Mnx<Grs[i].x then Mnx:=Grs[i].x;
if Mny<Grs[i].y then Mny:=Grs[i].y;
if Msx>Grs[i].x then Msx:=Grs[i].x;
if Msy>Grs[i].y then Msy:=Grs[i].y;
end;

if Mnx>Xmd then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x-117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
end;

if Mny>Ymd then

```

```

begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y-117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
end;

if Msx<Xmd1 then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x+117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
end;

if Msy<Ymd1 then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y+117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
end;

(*Mnx:=Grs[1].x; Mny:=Grs[1].y;
for i:=1 to 720 do
begin
if Mnx>Grs[i].x then Mnx:=Grs[i].x;
if Mny>Grs[i].y then Mny:=Grs[i].y;
end;

if Mnx>Xmd then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].x:=Grs[i].x-117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].x:=Grs1[i].x;
end;

if Mny<Ymd then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y+117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
end;

for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y-117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;

{if Mny<Ymd then
begin
for i:=1 to 720 do Grs1[i].y:=Grs[i].y+117;
for i:=1 to 720 do Grs[i].y:=Grs1[i].y;
end;}}

{Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,225,225));
Pen.Color:=TColor(RGB(215,95,95));
Polygon(Grs);

Pen.Mode:=pmCopy;}} *)

```

```

{for i:=Ncn to 360 do
begin
  Gr[i].x:=Gr[Ncn].x;
  Gr[i].y:=Gr[Ncn].y;
end;
for i:=Ncno to 360 do
begin
  Gr1[i].x:=Gr1[Ncno].x;
  Gr1[i].y:=Gr1[Ncno].y;
end;}

Mnx:=Gr[1].x; Mny:=Gr[1].y;
Mn1x:=Gr1[1].x; Mn1y:=Gr1[1].y;
Msx:=Gr[1].x; Msy:=Gr[1].y;
Ms1x:=Gr1[1].x; Ms1y:=Gr1[1].y;

for i:=1 to 360 do
begin
  if Mnx<Gr[i].x then Mnx:=Gr[i].x;
  if Mny<Gr[i].y then Mny:=Gr[i].y;
  if Mn1x<Gr1[i].x then Mn1x:=Gr1[i].x;
  if Mn1y<Gr1[i].y then Mn1y:=Gr1[i].y;

  if Msx>Gr[i].x then Msx:=Gr[i].x;
  if Msy>Gr[i].y then Msy:=Gr[i].y;
  if Ms1x>Gr1[i].x then Ms1x:=Gr1[i].x;
  if Ms1y>Gr1[i].y then Ms1y:=Gr1[i].y;
end;

if (Mnx>Xmd) or (Mn1x>Xmd) then
begin
  for i:=1 to 360 do Grs[i].x:=Gr[i].x-117;
  for i:=1 to 360 do Gr[i].x:=Grs[i].x;
  for i:=1 to 360 do Grs1[i].x:=Gr1[i].x-117;
  for i:=1 to 360 do Gr1[i].x:=Grs1[i].x;
end;

if (Mny>Ymd) or (Mn1y>Ymd) then
begin
  for i:=1 to 360 do Grs[i].y:=Gr[i].y-117;
  for i:=1 to 360 do Gr[i].y:=Grs[i].y;
  for i:=1 to 360 do Grs1[i].y:=Gr1[i].y-117;
  for i:=1 to 360 do Gr1[i].y:=Grs1[i].y;
end;

if (Msx<Xmd1) or (Ms1x<Xmd1) then
begin
  for i:=1 to 360 do Grs[i].x:=Gr[i].x+117;
  for i:=1 to 360 do Gr[i].x:=Grs[i].x;
  for i:=1 to 360 do Grs1[i].x:=Gr1[i].x+117;

```

```

for i:=1 to 360 do Gr1[i].x:=Grs1[i].x;
end;

if (Msy<Ymd1) or (Ms1y<Ymd1) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].y:=Gr[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].y:=Grs[i].y;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].y:=Gr1[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].y:=Grs1[i].y;
end;

(*Mnx:=Gr[1].x; Mny:=Gr[1].y;
Mn1x:=Gr1[1].x; Mn1y:=Gr1[1].y;
for i:=1 to 360 do
begin
if Mnx>Gr[i].x then Mnx:=Gr[i].x;
if Mny>Gr[i].y then Mny:=Gr[i].y;
if Mn1x>Gr1[i].x then Mn1x:=Gr1[i].x;
if Mn1y>Gr1[i].y then Mn1y:=Gr1[i].y;
end;

if (Mnx>Xmd) or (Mn1x>Xmd) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].x:=Gr[i].x-117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].x:=Grs[i].x;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].x:=Gr1[i].x-117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].x:=Grs1[i].x;
end;

{if (Mny<Ymd) or (Mn1y<Ymd) then
begin
for i:=1 to 360 do Grs[i].y:=Gr[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr[i].y:=Grs[i].y;
for i:=1 to 360 do Grs1[i].y:=Gr1[i].y+117;
for i:=1 to 360 do Gr1[i].y:=Grs1[i].y;
end;}* )

Pen.Color:=TColor(RGB(55,155,55));

for i:=1 to Ncn do
Ellipse(Gr[i].x-1,Gr[i].y-1,Gr[i].x+1,Gr[i].y+1);

Pen.Color:=TColor(RGB(255,55,55));

for i:=1 to Ncno do
Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);

{Pen.Color:=TColor(RGB(155,195,155));

Polyline(Gr);
Polyline(Gr1);}

```

```

Nb:=Round(alf+180-Arcsin(Vv/Vc));
Ne:=Round(alf+Arcsin(Vv/Vc));

if Nb<Ne then dN:=Ne-Nb
else dN:=360-(Nb-Ne);

Pen.Color:=TColor(RGB(155,155,255));
for i:=0 to dN do
begin
K2o:=Round(alf+180-Arcsin(Vv/Vc))+i;
K2:=Cour(K2o);
if (K2-alf>180+Arcsin(Vv/Vc)) and (K2-alf<360-Arcsin(Vv/Vc)) then goto 6;
K12o:=Round(alf+Arcsin((Vc/Vv)*sin((K2-alf)/57.3)));
K12:=Cour(K12o);
KotVot(K12,K2,Vv,Vc,Kot2,Vot);
Pen.Color:=TColor(RGB(155,155,255));
if cos((Kot2-alf)/57.3)>=0 then
begin
Gr1[i].x:=Round(Xmp{412}+0.5*K2o*0.65);
Gr1[i].y:=Round(Ymp{194}-0.5*K11o*0.65);

{Ellipse(Gr1[i].x-1,Gr1[i].y-1,Gr1[i].x+1,Gr1[i].y+1);}
end;
6: end;

end;

{end;}

end;

Font.Size:=12;
Font.Style=[];
Brush.Style:=bsClear;
TextOut(126,26,'K1');
TextOut(359,26,'K1');
TextOut(562,225,'K2');
TextOut(359,264,'K2');
TextOut(330,225,'K3');
TextOut(562,460,'K3');

Yn:=Round(194-0.5*K1n*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(10,100,10),1,0);
Xn:=Round(412+0.5*K2n*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,Xn,20,Xn,253,RGB(100,10,10),1,0);
Yn:=Round(430-0.5*K2n*0.65);
ColorLine(ShowBmp,Image1,120,Yn,588,Yn,RGB(100,10,10),1,0);

```

```

Xn:=Round(412+0.5*K3n*0.65);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,253,Xn,488,RGB(10,10,100),1,0);
Xn:=Round(180+0.5*K3*0.65);
ColorLine>ShowBmp,Image1,Xn,20,Xn,253,RGB(10,10,100),1,0);

Font.Size:=10;

Font.Color:=TColor(RGB(20,30,30));

TextOut(550,27,'Sd12');
TextOut(550,263,'Sd23');
TextOut(315,27,'Sd13');
end;

ShowBmp.Canvas.CopyRect(Rect(70,5,670,510),
Image1.Canvas,Rect(70,5,670,510));
K1:=K1n; K2:=K2n; K3:=K3n;
end;

```

ДОДАТОК В.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРО-
БАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пятаков Э.Н. Синтез системы бинарной координации при расхождении судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 4 (38). – С. 23 - 29.
2. Y.L. Volkov. The Choice of the Maneuver of the Vessel's Passing Considering the Coordination's System of the Interactive Vessels and Their Dynamic Characteristics / Y.L. Volkov, E.N. Pyatarov & Y.V.Kalinichenko // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, No. 1, page 79-82, 2017.
3. Волков Е.Л. Выбор маневра расхождения судна изменением курса с помощью области недопустимых параметров движения / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 97 - 101.
4. Копанский С.В. Графический способ оценки значения ситуационного возмущения/ Копанский С.В., Волков Е.Л. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 57-62.
5. Пятаков Э.Н. Координация безопасного расхождения трех судов / Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОН-МА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 185-193.
6. Волков Е.Л. Применение области недопустимых параметров движения для предупреждения столкновения судов / Волков Е.Л., Омельченко Т.Ю. // XXVII Международная конференция «Развитие науки в XXI веке», 15 сентября 2017г. – Харьков – С. 44-49.

7. Волков Е.Л. Оперативный способ предупреждения столкновения судов с помощью области недопустимых параметров движения/ Волков Е.Л. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. – 21-24.
8. Волков Е. Л. Использование областей недопустимых значений параметров движения судна при локально-независимом управлении процессом расхождения/ Волков Е. Л. // East European Science Journal (Warsaw, Poland) # 11 (27), 2017 part 1. – С. 15-24
9. Волков Е.Л. Маневр расхождения судна снижением скорости активным торможением / Волков Е.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 148, 2017.- С. 98 - 101.
10. Пятаков Э. Н. Разработка системы координации трех судов в ситуации опасного сближения / Пятаков Э. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 139–141.
11. Волков Е.Л. Определение значения ситуационного возмущения с помощью графической диаграммы/ Волков Е.Л.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали ІХ Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 98–101.
12. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения с учетом требований системы координации взаимодействующих судов/ Пятаков Э.Н., Волков Е.Л. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17-18 травня 2017 р. – Миколаїв : МУК, 2017. – С. 27–29.
13. Волков Е. Л. Безопасное расхождение судов маневром уклонения/ Волков Е. Л. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2017 – Одеса : ОНМА, 2017. – С. 137 - 140.

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

ДОДАТОК С.

Акти упровадження результатів дисертації

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. ректора ДУІТ
професор Панін В.В.
«14» серпня 2017р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційних досліджень Волкова Є.Л.

Комісія у складі: голови – в.о. директора КІВТ ДУІТ, доцент Тимошук О.М. та членів: к.т.н., декан факультету, доцент Сьомін О.А., та доцент Кудрявцев В.Г. встановила, що результати наукових досліджень автора, а саме:

- використання методу локально-незалежного управління процесу розходження суден з використанням областей неприпустимих значень параметрів руху судна, а також методи визначення цих областей, були опробовані у імітаційній комп'ютерній програмі моделювання розходження суден в різних ситуаціях небезпечного зближення та програванням їх маневрів при підготовці фахівців морського та річкового транспорту, а також у процесі викладання дисциплін «Теорія та практика судноводіння та управління судном», «Сучасні методи експериментальних досліджень та обробки даних в судноводінні та управління судном», «Технічні системи судноводіння», «Навігація та лоція».

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова:

Голова комісії:

Члени комісії:

доцент Тимошук О.М.

к.т.н, доцент Сьомін О.А.

доцент Кудрявцев В.Г.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор „ХДМА”
професор Ходковський В.Ф.«14»/11

А К Т

про використання результатів дисертаційної роботи здобувача Волкова Євгена Леонідовича з теми “Вдосконалення методу локально-незалежного управління процесом розходження суден використанням областей неприпустимих значень параметрів” у навчальному процесі Херсонської державної морської академії.

Ми, що нижче підписалися, начальник навчального відділу Струмінська Л.Є., декан факультету судноводіння, д.п.н., доцент Чернявський В.В., і проректор з науково-педагогічної роботи, в.о. завідуючого кафедрою судноводіння та електронних навігаційних систем, к.т.н., доцент Бень А.П., склали цей акт в тому, що результати кандидатської дисертації здобувача Волкова Євгена Леонідовича на тему “Вдосконалення методу локально-незалежного управління процесом розходження суден використанням областей неприпустимих значень параметрів” впроваджені у навчальний процес Херсонської державної морської академії на кафедрі судноводіння та електронних навігаційних систем в розділах забезпечення безпеки маневрування судна.

Начальник навчального
відділу

Струмінська Л.Є.

Декан факультету судноводіння,
д. п. н., доцент

Чернявський В.В.

Проректор з науково-педагогічної роботи,
в.о. завідуючого кафедрою
судноводіння та електронних навігаційних систем,
к.т.н., доцент

Бень А.П.

А К Т ВПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в компанії V. Ships одержали упровадження методу розрахунку параметрів маневру розходження судна з ціллю зміною курсу з використанням областей небезпечних курсів і швидкостей, які розроблені в дисертаційній роботі Волкова Євгена Леонідовича на тему „Вдосконалення методу локально-незалежного управління процесом розходження суден використанням областей неприпустимих значень параметрів”.

Метод використовується при перепідготовці судноводіїв компанії.

Директор представительства
компанії V.Ships в Україні, к.т.н., к.д.п.



Сафин И.В.

06.12.2017 г.

АКТ УПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в приватному вищому учбовому закладі «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» одержали упровадження в учбовий процес наступні результати дисертаційної роботи Волкова Євгена Леонідовича „Вдосконалення методу локально-незалежного управління процесом розходження суден використанням областей неприпустимих значень параметрів”:

- розрахунок параметрів стратегії розходження судна з небезпечною ціллю зміною курсу;
- використання області небезпечних значень параметрів руху судна для розходження судна маневром гальмування.

Директор

Інституту післядипломної освіти

«Одеський морський тренажерний центр»

к.т.н., професор

06.12.2017 р.



Пашенко Ю.В.



А К Т

про використання результатів дисертаційної роботи здобувача Волкова Євгена Леонідовича на тему „Вдосконалення методу локально-незалежного управління процесом розходження суден використанням областей неприпустимих значень параметрів ” у навчальному процесі університету

Ми, що нижче підписалися, начальник навчального відділу Пархоменко М. М., декан факультету морського судноводіння д. т. н., професор Цимбал М. М. і завідуючий кафедрою Управління судном к. т. н., доцент Бурмака І.О. склали цей акт в тому, що результати кандидатської дисертації здобувача Волкова Євгена Леонідовича на тему „Вдосконалення методу локально-незалежного управління процесом розходження суден використанням областей неприпустимих значень параметрів ” впроваджені у навчальний процес на кафедрі Управління судном в розділах забезпечення маневрування судна.

Начальник навчального
відділу

Пархоменко М. М.

Декан факультету морського
судноводіння, д. т. н., професор

Цимбал М. М.

Завідуючий кафедрою Управління судном,
к. т. н., доцент

Бурмака І.О.