

Національний університет “Одеська морська академія “

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Кулаков Максим Олександрович

УДК 656.61.052

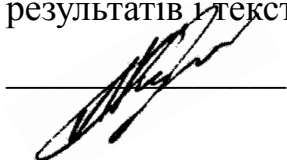
ДИСЕРТАЦІЯ

РОЗРОБКА СПОСОБУ ВИБОРУ МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ ЗМІНОЮ ШВИДКОСТЕЙ СУДЕН ПРИ ЇХ ЗОВНІШНЬОМУ УПРАВЛІННІ

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

 Кулаков М.О.

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

Одеса – 2018

АНОТАЦІЯ

Кулаков М.О. Розробка способу вибору маневру розходження зміною швидкостей суден при їх зовнішньому управлінні. – 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.

Попередній аналіз літератури з проблеми забезпечення і підвищення безпеки судноводіння показав, що основними напрямками розв’язання цієї проблеми є розробка теорії і методів попередження зіткнень суден у прибережних районах інтенсивного судноплавства, моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, які присвячені питанням виконання суднами різних маневрів, що сприяє більш ефективному і безпечному плаванню, та забезпечення точності контролю місця судна й оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

У результаті аналізу було встановлено, що одним з найактуальніших аспектів забезпечення безпеки судноводіння є попередження зіткнень суден при плаванні в стислих водах, тому дисертаційне дослідження присвячене формуванню області небезпечних швидкостей суден для розробки способу вибору маневру розходження зміною їх швидкостей при зовнішньому управлінні процесом розходження.

Мета дисертаційного дослідження та його головна задача сформульовані в розробленій технологічній карті дослідження, причому головна задача представлена трьома допоміжними задачами. Запропонована та в подальшому підтверджена гіпотеза наукового дослідження, також показано, що результатом розв’язання допоміжних задач стали відповідні наукові результати дисертаційної роботи, які містять наукову новизну, підкреслено ті

положення дослідження, що отримані вперше.

Значущість і практична цінність дисертаційного дослідження зумовлені можливістю впровадження практичних рекомендацій, отриманих у дисертаційній роботі, для зниження аварійності судноводіння, а також сформульоване загальне наукове положення роботи.

У роботі розглянуто загальну методику розв'язання головної задачі шляхом знаходження розв'язань допоміжних задач дисертаційної роботи, причому методика є насамперед узагальненим алгоритмом виконання дисертаційного дослідження поетапним розв'язанням складових завдань, а не тільки їх формальним описом. Для цього проведено теоретичні розробки з використанням сучасних методів аналітичного аналізу та здійснено імітаційне моделювання, яке підтвердило коректність отриманих теоретичних результатів дисертаційного дослідження.

В основній частині дисертаційного дослідження введено поняття і характеристика елементарної групи суден. Розглянуто характеристики істинного і відносного руху і наведено взаємні залежності між їхніми параметрами. Отримано аналітичні вирази для дистанції і часу найкоротшого зближення та наведена формула для розрахунку швидкості зближення суден і запропоновано графічну ізолінію для визначення знаку швидкості зближення.

Наведено процедуру формування областей небезпечних курсів елементарної групи суден для різних співвідношень їхніх швидкостей. Показана залежність областей небезпечних курсів від істотних параметрів, включаючи поточну і граничну-допустиму дистанції.

Наведено загальне визначення ситуативного збурення і процедура оцінки його значення залежно від поточної ситуації небезпечного зближення, що склалася.

Для випадку, коли швидкість судна менше швидкості цілі, наведено аналітичний метод і графічні діаграми, за допомогою яких можна визначити значення ситуативного збурення залежно від поточної дистанції, швидкостей суден, граничної-допустимої дистанції зближення і швидкості цілі.

У разі ситуації, коли неможливе маневрування зміною курсу, запропоновано процедуру формування областей небезпечних швидкостей, за допомогою яких можливий вибір маневру розходження суден зміною їхніх швидкостей.

Детально розглянуто питання вибору оптимального маневру розходження зміною швидкостей суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик у різних режимах гальмування.

Показано, що, виходячи з початкової ситуації небезпечного зближення суден, за допомогою області їх небезпечних швидкостей визначається існування множини безпечних маневрів розходження суден зміною швидкостей з урахуванням їх інерційності в режимах активного і пасивного гальмування. Для розв'язання вказаного завдання в роботі розглянуто аналітичний опис режимів активного і пасивного гальмування судна. Отримано вирази для розрахунку тривалості перехідного процесу активного і пасивного гальмування, пройденої при цьому відстані і залежність швидкості гальмування від часу.

У разі існування множини безпечних маневрів розходження суден зміною швидкостей запропоновано процедуру визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей аналітичним способом, яка дозволяє розрахувати момент часу початку гальмування суден, при якому дистанція найкоротшого зближення дорівнює граничній-допустимій дистанції зближення. У розділі також показано, що критерієм оптимальності є мінімізація втрати часу для виконання маневру розходження, які зменшуються при досягненні дистанції найкоротшого зближення значення граничної-допустимої дистанції зближення. Отримано вирази для розрахунку оптимального значення моменту часу початку гальмування суден при використанні суднами різних варіантів режимів гальмування: обидва судна знижують швидкість активним гальмуванням, відбувається маневр розходження пасивним гальмуванням суден, і одне з суден використовує активне гальмування, а друге – пасивне гальмування.

У роботі запропонована процедура комп'ютерного графічного визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей суден. Для перевірки коректності запропонованої процедури наведено приклади визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей суден, що небезпечно зближуються, різними режимами гальмування.

У завершенні роботи представлені результати перевірки коректності отриманого в дисертаційній роботі способу розходження суден зміною їхніх швидкостей, який заснований на використанні області небезпечних швидкостей. З цією метою була розроблена імітаційна комп'ютерна програма, яка складається з двох основних модулів, що забезпечують вибір оптимального маневру розходження зниженням швидкостей суден при заданій ситуації небезпечного зближення і програвання вибраного маневру розходження, внаслідок чого робиться висновок про його коректність.

Наведено докладний опис комп'ютерної імітаційної програми вибору маневру розходження суден зміною їхніх швидкостей з урахуванням інерційно-гальмівних характеристик. Показано, що введення початкової ситуації небезпечного зближення можливе вибором однієї з десяти стандартних ситуацій, які відповідають вимогам існування множини маневрів розходження, або ситуація небезпечного зближення генерується введенням її параметрів. Після вибору початкової ситуації за допомогою першого модуля імітаційної програми визначається оптимальний маневр розходження. Передбачена оптимізація за часом початку гальмування суден або за значенням швидкостей розходження суден. Процедура вибору оптимального маневру розходження характеризується простотою і оперативністю.

За допомогою другого модуля програми імітаційним моделюванням проведено перевірку коректності отриманих маневрів розходження. З цією метою обирався ряд початкових ситуацій небезпечного зближення, для яких визначалися оптимальні маневри розходження. Потім проводилося програвання отриманих маневрів, аналіз якого показав коректність всіх маневрів, тобто розрахункові значення тривалості перехідних процесів

гальмування обох суден, часу і дистанції найкоротшого зближення збіглися зі значеннями, отриманими в результаті програвання маневру для всіх розглянутих випадків.

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає в створенні нового методу вибору оптимального маневру розходження суден зниженням швидкостей, який реалізований в комп'ютерному модулі та відрізняється принципом зовнішнього управління процесом їхнього розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей.

У дисертаційній роботі:

- вперше отримано спосіб вибору оптимального маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей;

- удосконалено спосіб формування області небезпечних швидкостей з розрахунком її меж і графічним відображенням;

- дістала подальшого розвитку процедура визначення можливостей існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей.

Проведеному дисертаційному дослідженню властиве практичне значення, яке полягає в тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна в процесі експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління процесом розходження судна.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 27.03.2018 р.), кріюінговою компанією «В.Шіпс (Україна)» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден за напрямом «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 10.04.2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження

використовуються в навчальному процесі національного університету «Одеська морська академія» (акт від 23.04.2018 р.).

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, зовнішнє управління, маневр розходження зниженням швидкостей, область небезпечних швидкостей.

Основні результати дисертаційного дослідження здобувача опубліковані в наступних наукових працях:

Основні наукові результати дисертації.

1. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения/ Бурмака И.А., Калиниченко Г. Е., Кулаков М. А.// Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 71.

2. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения / Бурмака И.А., Пасечнюк С. С., Кулаков М. А.// Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 - 80.

3. 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.

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

5. Кулаков М. А. Использование областей опасных скоростей для выбора маневра расхождения судов/ Кулаков М. А., Калиниченко Г.Е., Петриченко Е.

А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 62 – 65.

6. Кулаков М. А. Выбор оптимальных скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Кулаков М.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23.

7. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса : «ИздатИнформ», 2015 - С. 35-41.

8. Кулаков М. А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов / Кулаков М. А. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 27. – Одесса : «ИздатИнформ», 2016 - С.

9. Бужбецкий Р.Ю. Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения / Бужбецкий Р.Ю., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса : «ИздатИнформ», 2017

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

10. Бурмака И.А. Использование областей опасных скоростей для расхождения судов в стесненных условиях / Бурмака И.А., Кулаков М.А. // Морські перевезення та інформаційні технології в суднопластві: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 115–117

11. М. А. Кулаков. Определение маневра расхождения с помощью области опасных скоростей судов / Кулаков М.А. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, суднопластво, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 123–125.

12. Калиниченко Г. Е. Анализ условия сближения судов / Калиниченко Г. Е., Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на

транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон : ХДМА, 2016. – С. 122–125.

13. Кулаков М.А. Применение области опасных скоростей судов для выбора маневра расхождения / Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 122–125.

14. 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.

ANNOTATION

Kulakov M. A. Development of method of choice of maneuver of divergence by the change of speeds of ships at their external management. 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.

The previous analysis of literature on a problem showed providing and increases of safety of navigation, that development of theory and methods of warning of collisions of ships in the off-shore districts of intensive navigation, design of motion of ship at sailing in the compressed districts which are devoted to the questions of implementation by the ships of different maneuvers is basic directions of decision of this problem, that is instrumental in more effective and safe sailing, and providing of exactness of control of place of ship and estimation of safety of navigation in the compressed terms.

It was set as a result of analysis, that one of the most actual aspects of providing of safety of navigator is warning of collisions of ships at sailing in the compressed waters, therefore dissertation research is devoted to forming of region of dangerous speeds of ships for development of method of choice of maneuver of divergence by the change of their speeds at the external process control of divergence.

The purpose of dissertation research and his main task is formulated in the developed technological card of research, thus a main task is represented by three independent component tasks. Offered and in future confirmed hypothesis of scientific research, it is also shown that the proper scientific dissertation job performances which contain a scientific novelty were the result of decision of independent component tasks, those positions of research are underlined, that is

got first.

Meaningfulness and practical value of dissertation research is conditioned by possibility of introduction of the practical recommendations got in dissertation work, for the decline of accident rate of navigator, and also the formulated scientific general of work.

In work the general method of decision of main task is considered by finding of decisions of component tasks of dissertation work, thus a method is the above all things generalized algorithm of implementation of dissertation research by the stage-by-stage decision of component tasks, instead of only by their formal specification. For this purpose conducted theoretical developments with the use of modern methods of analytical analysis and the imitation design which confirmed correctness of the got theoretical results of dissertation research is carried out.

In basic part of dissertation research it is entered concept and description of elementary group of ships. Descriptions of veritable and relative motion and resulted mutual dependences are considered between their parameters. Analytical expressions for distance and time of the shortest rapprochement are got the that resulted formula for the calculation of speed of rapprochement of ships and the graphic is offered line for determination of sign of speed of rapprochement.

Procedure of forming of regions of dangerous courses of elementary group of ships is resulted for different correlations of their speeds. Shown dependence of regions of dangerous courses on substantial parameters, including current and maximum-possible distances.

It is resulted common determination of situation indignation and procedure of estimation of his value depending on the current situation of dangerous rapprochement, which was folded.

For a case, when speed of ship less speed of purpose, resulted analytical method and graphic diagrams, by which it is possible to define the value of situation indignation depending on current distance, speeds of ships, maximum-possible distance of rapprochement and speed of purpose.

In instance where impossible maneuvering by the change of course, offered procedure of forming of regions of dangerous speeds, by which possible choice of maneuver of divergence of ships by the change of their speeds.

In detail the question of choice of optimum maneuver of divergence by the change of speeds of ships is considered taking into account their inertia-brake descriptions in different modes of braking.

It is shown that, coming the initial situation of dangerous rapprochement of ships from, by the region of their dangerous speeds existence of great number of safe maneuvers of divergence of ships by the change of speeds taking into account their inertia in the modes of the active and passive braking is determined. For the decision of the indicated task analytical description of the modes of the active and passive braking of ship is considered in work. Got expressions for the calculation of duration of transitional process of the active and passive braking, passed here distances and dependence of speed of braking from time.

In the case of existence of great number of safe maneuvers of divergence of ships the change of speeds offers procedure of determination of optimum maneuver of divergence by the change of speeds by an analytical method, which allows to expect moment of time of beginning of braking of ships, at which distance of the shortest rapprochement even to maximum-possible distance of rapprochement. It is also shown in a section, which as criterion of optimum there are the losses of time for implementation of maneuver of divergence, which diminishes at achievement of distance of the shortest rapprochement of value of maximum-possible distance of rapprochement. Expressions are got for the calculation of optimum value of moment of time of beginning of braking of ships at the use by the ships of different variants of the modes of braking: both ships reduce speed by the active braking, there is the maneuver of divergence by the passive braking of ships and one of ships uses the active braking, and second is passive braking.

There is the offered procedure of computer graphic determination of optimum maneuver of divergence by the change of speeds of ships in work. For verification

of correctness of the offered procedure the resulted examples of determination of optimum maneuver of divergence by the change of speeds of ships which are dangerously drawn together, different modes of braking.

In completion of work the represented results of verification of correctness of the method of divergence of ships by the change of their speeds got in dissertation work, which is based on the use of region of dangerous speeds. The imitation computer program, which consists of two basic modules which provide the choice of optimum maneuver of divergence by the decline of speeds of ships at the set situation of dangerous rapprochement and playing of the chosen maneuver of divergence, was developed to that end, as a result is drawn conclusion about his correctness.

The detailed description of the computer imitation program of choice of maneuver of divergence of ships is resulted by the change of their speeds taking into account inertia-brake descriptions. It is shown that introduction of initial situation of dangerous rapprochement is possible by the choice of one of ten standard situations which respond to request existence of great number of maneuvers of divergence, or the situation of dangerous rapprochement is generated by introduction of its parameters. After the choice of initial situation by the first imitation program unit the optimum maneuver of divergence is determined. Foreseen optimization at times of beginning of braking of ships or on by the value of speeds of divergence of ships. Procedure of choice of optimum maneuver of divergence is characterized by simplicity and operative.

By the second program unit by the imitation design the conducted verification of correctness of the got maneuvers of divergence. The row of initial situations of dangerous rapprochement got out to that end, which the optimum maneuvers of divergence were determined for. Then playing of the got maneuvers was conducted, the analysis of which showed correctness of all maneuvers, that the calculation values of duration of transitional processes of braking of both ships, to time and distance of the shortest rapprochement coincided with the values got as a result of playing of maneuver for all considered cases.

The scientific novelty of the results got in dissertation consists in creation of a new method of choice of optimum maneuver of divergence of ships by the decline of speeds, which is realized in the computer module, and is differed by principle of external process and application of region of dangerous speeds control of their divergence.

In dissertation work:

the method of forming of region of dangerous speeds is first developed with the calculation of its scopes and graphic reflection;

procedure of determination of possibilities of existence of great number of possible maneuvers of divergence of ships is first offered by the change of their speeds;

the method of choice of optimum maneuver of divergence by the decline of speeds of ships is first got by the region of dangerous speeds.

To the conducted dissertation research peculiar practical value, which consists in that his results can be inculcated on ships in the process of exploitation, and also used by the developers of the navigation informative systems intended for the external process control of divergence of ship.

The practical results of dissertation research are inculcated by private higher educational establishment «Institute of післядипломної education» the «Odessa marine trainer center» for preparation of navigators (act of introduction from 27.03.2018), by the crew company «V.Ships Ukraine» for studies, preparation and retraining of officers of marine ships to direction of «Navigator» with the purpose of providing of safety of sailing (act of introduction from 10.04.2018). Materials of dissertation research are used in an educational process at teaching of national university “Odessa maritime academy” (act of introduction from 23.04.2018).

Keywords: safety of navigation, warning of collisions of ships, external management, maneuver of divergence by the decline of speeds, region of dangerous speeds.

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

Basic scientific results of dissertation.

1. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения/ Бурмака И.А., Калиниченко Г. Е., Кулаков М. А. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 71.

2. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения / Бурмака И.А., Пасечнюк С. С., Кулаков М. А. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 - 80.

3. 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.

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

5. Кулаков М. А. Использование областей опасных скоростей для выбора маневра расхождения судов/ Кулаков М. А., Калиниченко Г.Е., Петриченко Е. А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 62 – 65.

6. Кулаков М. А. Выбор оптимальных скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Кулаков М.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. .

7. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем

управлении процессом судовождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса : «ИздатИнформ», 2015 - С. 35-41.

8. Кулаков М. А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов / Кулаков М. А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса : «ИздатИнформ», 2016 - С.

9. Бужбецкий Р.Ю. Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения / Бужбецкий Р.Ю., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов / НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса : «ИздатИнформ», 2017 - С.

Publications which certify approbation of materials of dissertation.

10. Бурмака И.А. Использование областей опасных скоростей для расхождения судов в стесненных условиях / Бурмака И.А., Кулаков М.А. // Морські перевезення та інформаційні технології в суднопластві: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 115–117

11. М. А. Кулаков. Определение маневра расхождения с помощью области опасных скоростей судов / Кулаков М.А. // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, суднопластво, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 123–125.

12. Калиниченко Г. Е. Анализ условия сближения судов / Калиниченко Г. Е., Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 122–125.

13. Кулаков М.А. Применение области опасных скоростей судов для выбора маневра расхождения / Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX

Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 122–125.

14. 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.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ.....	25
1.1. Аналіз літературних джерел за проблемою забезпечення безпечного плавання суден.....	25
1.2. Вибір напрямку дисертаційного дослідження.....	47
1.3. Висновки за першим розділом.....	48
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	49
2.1. Визначення теми наукового дослідження.....	49
2.2. Характеристика методів дослідження дисертаційної роботи.....	51
2.3. Короткий зміст методики проведення дослідження з теми дисертації.....	56
2.4. Характеристика елементарної групи суден.....	58
2.5. Висновки за другим розділом.....	83
РОЗДІЛ 3. КОМПЕНСАЦІЯ СИТУАТИВНОГО ЗБУРЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНОЇ ГРУПИ СУДЕН ПРИ ЗОВНІШНЬОМУ ТИПІ УПРАВЛІННЯ.....	84
3.1. Використання області небезпечних курсів для вибору безпечного маневру розходження.....	84
3.2. Вибір безпечного маневру розходження в першому наближенні за допомогою області небезпечних швидкостей.....	92
3.3. Висновки за третім розділом.....	96
РОЗДІЛ 4. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ ЗМІНОЮ ШВИДКОСТЕЙ СУДЕН З УРАХУВАННЯМ ЇХ ІНЕРЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	97
4.1. Умова існування множини безпечних маневрів розходження суден змінюю швидкостей з урахуванням їх інерційності.....	97

4.2. Активне і пасивне гальмування судна.....	105
4.3. Визначення аналітичним способом оптимального маневру роз- ходження зміною швидкостей.....	111
4.4. Процедура комп'ютерного графічного визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей суден.....	119
4.5. Висновки за четвертим розділом.....	136
РОЗДІЛ 5. ПЕРЕВІРКА КОРЕКТНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙ- НОЇ РОБОТИ ІМІТАЦІЙНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ.....	138
5.1. Опис комп'ютерної імітаційної програми вибору маневру роз- ходження суден зміною їх швидкостей з урахуванням інерційно- гальмівних характеристик.	138
5.2. Перевірка імітаційним моделюванням коректності отриманих ре- зультатів.....	157
5.3. Висновки за п'ятим розділом.....	182
ВИСНОВКИ.....	183
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	185
ДОДАТОК А. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації.....	200
ДОДАТОК Б. Акти впровадження результатів дисертації.....	203
ДОДАТОК В. Фрагмент лістингу імітаційної програми.....	204

ВСТУП

Актуальність теми. Однією з найважливіших є проблема забезпечення безпеки судноводіння, оскільки від її успішного розв'язання залежить зменшення кількості аварійних випадків, що веде до зниження шкоди людському життю, навколишньому середовищу і майну.

У стислих водах навігаційні перешкоди та інтенсивне судноплавство значно ускладнюють плавання морських суден і створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Саме стислі води облаштовуються станціями управління рухом суден, які в разі потреби забезпечують зовнішнє управління процесом розходження суден при виникненні ситуації небезпечного зближення. Тому розробка способів зовнішнього управління суднами, що небезпечно зближуються, чому присвячено дану роботу, є актуальним і перспективним науковим напрямом.

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

Мета і задачі дослідження.

Мета дисертаційного дослідження – підвищення безпеки судноводіння шляхом удосконалення методів попередження зіткнень суден.

Головна задача дисертаційного дослідження – створення нового способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням швидкостей, який реалізований в комп'ютерному модулі, та відрізняється

принципом зовнішнього управління процесом їх розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей.

Наукова гіпотеза дисертаційного дослідження – існування можливості підвищення оперативності і простоти вибору маневру розходження судна з небезпечною ціллю при зовнішньому управлінні за допомогою зниження швидкостей, заснованим на використанні області небезпечних швидкостей.

Головна задача дисертаційного дослідження методами системного аналізу була розділена на наступні три допоміжні задачі:

1. Формування області небезпечних швидкостей за допомогою розрахунку її меж.
2. Визначення умов існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей.
3. Розробка способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням їх швидкостей за допомогою графічного відображення області небезпечних швидкостей, яке реалізоване в комп'ютерному модулі.

Об'єктом дослідження є процес руху суден у стислих умовах.

Предметом дослідження є маневр розходження суден.

Методи дослідження. Рішення поставлених задач було досягнуте за допомогою використання у дисертаційному дослідженні наступних методів:

- дедукції при аналізі основних підходів вирішення проблеми безпеки судноводіння;
- системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи і під час формування технології наукового дослідження;
- системного аналізу для розділення головної задачі дисертаційного дослідження на допоміжні задачі;
- математичного аналізу для вирішення рівнянь руху судна і пошуку залежності параметрів руху судна від керуючих впливів;
- теоретичної механіки для складання диференціальних рівнянь руху судна;

- аналітичної геометрії для формування області небезпечних швидкостей суден.

Наукова новизна полягає у створенні нового реалізованого в комп'ютерному модулі способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням швидкостей, який відрізняється зовнішнім управлінням процесом їх розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей.

У дисертаційній роботі:

- вперше отримано спосіб вибору оптимального за часом маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей;
- удосконалено спосіб формування області небезпечних швидкостей з розрахунком її меж і графічним відображенням;
- дістала подальшого розвитку процедура визначення можливостей існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна в процесі експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління процесом розходження судна.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 27.03.2018 р.), кріюінговою компанією «В.Шіпс (Україна)» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден за напрямом «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 10.04.2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі національного університету «Одеська морська академія» (акт від 23.04.2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертантом самостійно здійснений інформаційний пошук та аналіз основних наукових результатів, проблем підвищення безпеки судноводіння, також здійснена розробка методологічного забезпечення дослідження та процедура визначення умов існування множини припустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей, також розроблені необхідні алгоритми, запропоновано спосіб вибору оптимального за часом маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей, здійснена імітаційна верифікація розробленої програми. З наукових праць, опублікованих ним у співавторстві, у дисертаційній роботі використані лише ті положення, які належать автору особисто: формалізація процедури розрахунку меж області небезпечних швидкостей [1], процедура формування областей небезпечних швидкостей [6], визначення характеристик групи суден при зовнішньому керуванні [3], використання областей небезпечних швидкостей для визначення маневру розходження [7], вибір безпечного маневру розходження використанням областей неприпустимих швидкостей [8], особливості розходження суден в стислих водах зміною швидкості [10], вираз для розрахунку межі визначення знаку зміни відстані між суднами [12], початкова умова існування множини маневрів розходження зміною швидкості [14], опис першого рівня гібридної системи взаємодії суден [5], процедура формування областей небезпечних швидкостей [9].

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 «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» (Одеса, 19-20 листопада 2015 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопада 2016 р.), VIII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (Херсон, 24-26 травня

2016 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 14 наукових праць (з них 4 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 5 наукових статей [1-5]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 4 наукові статті [6-9]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 5 доповідей [10-14].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (132 найменування) і трьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 271 сторінок та містить 108 рисунків, зокрема: 184 сторінок основного тексту, 15 сторінок списку використаних джерел, 72 сторінок додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

1.1. Аналіз літературних джерел з проблеми забезпечення безпечного плавання суден

Попередній аналіз літератури з проблеми забезпечення і підвищення безпеки судноводіння показав, що основними напрямками рішення цієї проблеми є розробка теорії і методів попередження зіткнень суден у прибережних районах інтенсивного судноплавства, моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, які присвячені питанням виконання суднами різних маневрів, що сприяє більш ефективному і безпечному плаванню, та забезпечення точності контролю місця судна і оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

У роботі [1] широко висвітлені питання як керованості суден, так і їх управління, а в роботі [2] розглянуто питання розрахунку інерційних характеристик суден та їх перехідних процесів руху. Основоположні роботи [3, 4] присвячені питанням забезпечення безпеки судноводіння шляхом підвищення точності контролю місця судна. Питання теорії і практики управління суден у різних ситуаціях й основні аспекти проблеми попередження зіткнення суден розглянуто в роботі [5]. У роботі [6] розглянуто базові питання проблеми безпечного розходження суден, а робота [7] присвячена застосуванню сучасних систем забезпечення безпеки судноводіння. Питання морехідної безпеки судна викладені в роботі [8].

Центральною проблемою забезпечення безаварійного судноводіння є попередження зіткнень суден у прибережних районах інтенсивного судноплавства.

У роботі [9] розглянуто два основних методи управління суднами в ситуації небезпечного зближення. Перший метод локально-незалежний, при якому кожне з суден приймає рішення про власний маневр розходження в рамках регламентуючої системи попередження зіткнень, якою на даний час є МППЗС-72 у частині маневрування суден, виходячи із ситуації свого зближення з кожною із цілей і не враховуючи ситуації зближення між цілями.

Другий метод передбачає повне управління системою суден, що зближуються, зовнішнім управлінцем і враховує всі парні ситуації зближення суден, передбачаючи вибір загальної стратегії розходження, яка включає їх взаємоузгоджені маневри.

Для обох методів управління суднами запропоновані процедури вибору оптимальних безпечних стратегій розходження, які враховують навігаційні перешкоди, що знаходяться в районі маневрування суден, і динаміку оперуючого судна. За допомогою комп'ютера проведено імітаційне моделювання планованих методів управління суднами при небезпечному зближенні.

Основним методом розходження суден сьогодні є локально-незалежне управління суднами в ситуації небезпечного зближення, оскільки він виник спочатку як інструмент попередження зіткнення суден у процесі розвитку судноводіння. Тому основні дослідження з проблематики попередження зіткнення суден присвячені розвитку даного методу. Розглянемо основні роботи в цьому напрямі.

Одними з перших досліджень питань розходження суден були роботи [10-12], в яких досліджувалися питання розходження судна з ціллю без урахування навігаційних перешкод та інерційних характеристик маневруючого судна, причому параметри руху цілі вважалися незмінними. У результаті отримано аналітичні вирази, які описують допустимі області безпечних курсів і швидкостей маневруючих суден. Слід зазначити, що в роботах одержані залежності між істинними і відносними параметрами руху судна при відомих курсі та швидкості цілі. Задачу коректно розв'язано методами оптимального управління.

Методи теорії оптимальних дискретних процесів запропоновані в роботах [13, 14] для пошуку оптимального управління судном при розходженні. Вважається, що швидкості та курси зустрічних суден незмінні, а зовнішні збурення відсутні. В задачі враховані обмеження безпечного розходження, а питання динаміки судна та умов району плавання враховується при даному підході. З допомогою ЕОМ проводиться пошук локально оптимальної безпечної траєкторії розходження судна з цілями. Рішення сформульованої задачі в явному вигляді неможливе, тому наводиться алгоритм її чисельного розв'язання, який використовує методи теорії оптимальних дискретних процесів.

Уперше в задачі формалізації процесу розходження суден в роботах [15-18] враховується їхня взаємодія, причому як взаємодія конфліктуючих сторін, інтереси яких перетинаються з причини економічності руху.

На початковому етапі досліджень в роботі [15] запропонована формалізація процесу розходження судна з кількома цілями методами теорії оптимального управління з урахуванням вимог МППЗС-72. У роботі запропонована двошкальна система управління, яка прогнозує рух судна і цілей при заданих керуючих впливах, що дозволяє визначити необхідні керуючі впливи з урахуванням вимог МППЗС.

З появою теорії позиційних диференціальних ігор виник новий підхід до формалізації процесу розходження, заснований на методах теорії ігор. Тому подальший розвиток первісної моделі здійснювався методами позиційних диференціальних ігор, що знайшло своє зображення в роботах [16-18]. У використаній математичній моделі судно і всі цілі представлені у вигляді динамічної системи, фазовий вектор якої змінюється відповідно до диференціальних рівнянь руху. Пошук оптимальних значень позиційної стратегії проводиться методами лінійного програмування, для чого лінеаризуються нелінійні обмеження безпечного розходження і навігаційних перешкод.

Водночас проводяться дослідження в роботах [19-22], які присвячені застосуванню методу нелінійної інтегральної інваріантності, викладеного в роботах [19, 20], для формалізації процесу розходження суден і розробки системи попередження зіткнень. Як вказується в роботі [20], метод нелінійної інтегральної інваріантності забезпечує синтез стратегії керування динамічною системою, яка інваріантна до $2n$ -мірного вектора швидкостей і курсів n -зустрічних суден, що ускладнюють рух оперуючого судна. Відстані від оперуючого судна до зустрічних суден обрані інваріантними координатами в даній задачі. Як стверджується у роботі, за допомогою згаданого методу при можливих найгірших для процесу розходження значень параметрів руху кожного із зустрічних суден можна знайти допустиму область безпечних стратегій оперуючого судна.

Врахування та алгоритмізація МППЗС-72 при виборі однокрокових стратегій розходження пропонується в роботах [21, 22]. МППЗС-72 застосовується при розходженні тільки пари суден, тому в роботах розглянута система парних відношень на множині всіх спостережуваних суден і виділяється оперуюче судно для розв'язання завдання вибору та формується множина суден, що зближуються з ним.

Всебічні дослідження ситуації небезпечного зближення двох суден наведені в роботах [23-27], у яких отримані умови існування множини безпечних маневрів розходження та розроблено процедуру формування оптимальної стратегії розходження. У роботах показано, що стратегія розходження залежить від області взаємних обов'язків суден, що реалізувалася, яка визначається вимогами МППЗС-72, причому стратегія розходження містить ділянку відхилення з програмної траєкторії руху і ділянку повернення на неї. Залежно від типу взаємодії суден оптимізація маневру розходження проводиться за різними критеріями оптимальності.

У роботах [28-31] розглянуто питання, які стосуються оцінки ситуації розходження суден. Так, в роботі [28] запропонована декомпозиція множини всіх навколишніх суден на вісім підмножин за ступенем небезпеки

зближення, одержані аналітичні умови декомпозиції множини суден. Процедура оцінки ефективності параметрів ситуації небезпечного зближення суден, обтяжених випадковими похибками, запропонована в роботі [29]. Питанню комп'ютерного графічного представлення ситуації зближення і зображення процесу розходження суден присвячена робота [30].

Процедури розрахунку параметрів маневру безпечного розходження суден з урахуванням їх інерційності отримано в роботах [32-38], в яких використовуються різні моделі поворотності судна. У роботі [34] в складних моделях обертального руху судна, які описуються диференціальними рівняннями третього порядку, запропоновані чисельні методи для розрахунку часу початку ухилення судна при розходженні. У роботах [36, 37] наведені експериментальні дані і результати імітаційного моделювання обертального руху судна з урахуванням динамічних моделей поворотності судна.

У роботах [39-41] наведені аналітичні процедури врахування навігаційних перешкод при формуванні безпечної стратегії розходження судна з ціллю. У роботі [39] розглянуто процес розходження суден за наявності в районі маневрування лінійної навігаційної небезпеки, а в роботі [40] отримано умови існування множини допустимих маневрів розходження з урахуванням навігаційних перешкод. У роботі [41] вказується, що навігаційні небезпеки поділяються на три типи: точкові навігаційні перешкоди, лінійні розподілені і складні розподілені навігаційні перешкоди.

Як вказується в публікації [42], СУРС, як правило, позбавлена технічних можливостей контролювати рух суден для забезпечення безпеки судноплавства. Як додаток до засобів можливості ухилення від зіткнення системи СУРС/AIS у статті запропоновано новий фуззі-метод. Для розрахунку даних про область знаходження судна, інерційних сил, що діють на нього, дані СУРС вводяться спільно з даними AIS до Морської географічної інформаційної системи MGIS (Marine Geographic Information System), що також використовується для визначення захисного кола і небезпечного індексу. Точне прогнозування часу і позиції зіткнення може

бути отримано з допомогою використання аналітичної моделі морської системи GIS, що дає оператору СУРС можливість попередити зіткнення суден.

У роботі [43] вказується, що загальний контроль систем управління є надмірно витратним і малоефективним, причина полягає у великій кількості вимірювань вектора управління. До цього слід додати, що керуючі впливи залежать від стану моря, течії і вітру, а для динаміки судна використовуються нелінійні та нестационарні характеристики.

У роботі [44] викладається зміст автономної суднової системи попередження зіткнення СА (Collision avoidance), а також наведене її теоретичне обґрунтування. Разом із алгоритмом розходження розглянуті пізнавальні можливості людини і Правила COLREG. Розглядаються вимоги до автономної навігації, ураховуючи чинники, що впливають на процес розходження суден. Зазначено, що ці чинники здатний оцінити судноводій та здійснити задовільне управління судном, але рішення, прийняті ним, є суб'єктивними, тобто можуть бути помилковими, і виникає вірогідність зіткнення.

У роботі наголошується, що дослідження щодо автоматизації керування судном можуть бути виконані в класичному або комп'ютерному варіантах. Класична техніка заснована на математичних моделях та їх алгоритмах. Представлена в роботі програма базується на використанні штучного інтелекту AI (Artificial Itelligence), причому методами AI для систем автономного розходження, що розглядаються в статті, є логіка фуззі, еволюційні алгоритми, експертні методи, нейромережа NN (Neural networks) та комбінація цих методів – гібридні системи (hybrid system).

Контроль і управління рухом судна, як показано у статті [45], під час його переходу між портами розглядається як багаторівнева система, що керує судновими системами, а підсистемам судна відповідають рівні системи контролю.

У роботі [46] показано, що індекс ризику зіткнення суден є основним та

важливим поняттям у області запобігання зіткнень суден. Проведено аналіз і вказуються переваги та недоліки різних методів розрахунку індексу ризику зіткнення суден. На основі комплексної площини запропоновано модель оцінки ризику зіткнення суден, яка може також компенсувати недоліки моделі оцінки, запропонованої Keaton J. Розрахунок індексу ризику зіткнення будується у вигляді тривимірного зображення просторової кривої індексу ризику для ситуацій мультикоманд суден. Вказується, що для реалізації запропонованої моделі використовується одиночний мікрокомп'ютер чіп, який доцільний для системи прийняття рішень щодо забезпечення безпечного судноводіння.

Шість методів оптимальної теорії ігор та штучної нейронної мережі для синтезу безпечного маневру розходження в ситуаціях небезпечного зближення суден в морі описано в статті [47]. Для визначення безпечної траєкторії власного судна при розходженні з іншими суднами для умов хорошої та обмеженої видимості продемонстровано застосування оптимальних алгоритмів керування методами теорії ігор. Розглянуті багатокрокові позиційні некооперативні та кооперативні ігри та наведено порівняння безпечного управління судном у ситуації небезпечного зближення за допомогою методів антагоністичної та кооперативної ігор. Наведено приклади комп'ютерного моделювання для визначення безпечних власних судових траєкторій у ситуації зближення з вісьмома зустрічними цілями.

У роботі [48] вказується, що в результаті зіткнення суден витрати можуть бути дуже великими, що зумовлює безсумнівну важливість для судноводіїв мати коректну інформацію про безпечні траєкторії розходження, особливо, коли в одному районі небезпечно зближується кілька суден. Розглянуто декілька способів попередження зіткнень суден, таких як УКХ-радіо, радіолокації та оглядових. Наведено характеристики більш сучасних способів: домен судна, теорії нечітких множин і генетичного алгоритму. Ці методи коректні в ситуаціях бінарних взаємодій, але їх застосування в

ситуаціях небезпечного зближення групи суден утруднене. З цієї причини в публікації запропоновано розподілений локальний Алгоритм пошуку (DLSA) для попередження зіткнень суден. Алгоритм DLSA є розподіленим, в якому кілька суден спілкуються одне з одним в межах певної області і УКХ-радіо. Алгоритм DLSA обчислює ризик зіткнення з допомогою інформації, отриманої від сусідніх суден.

Проте, алгоритму DLSA притаманний синдром, який забороняє судну зміну курсу навіть тоді, коли виникає ризик зіткнення. У даному дослідженні запропоновано Табу Алгоритм пошуку (DTSA), який використовує список табу, щоб уникнути вказаного синдрому для підвищення ефективності Табу Алгоритм пошуку. Були проведені експерименти порівняльної ефективності алгоритмів DLSA і DTSA. Результати показали, що ефективність DTSA вища за ефективність DLSA.

Базова модель процесу безпечного управління судном у ситуації можливого зіткнення із використанням моделі гри J об'єктів представлена у статті [49]. Модель включає нелінійні рівняння стану та нелінійні обмеження змінних стану. Якість індексу управління грою представлена у формах остаточного платежу та гри інтегральної плати. Наближеною моделлю управління процесом розходження і прийнята модель багатокрокової матричної гри у вигляді двоїстої задачі лінійного програмування. У програмному забезпеченні Matlab / Simulink була розроблена комп'ютерна програма ігрового управління GSC для визначення безпечної траєкторії оперуючого судна. Прикладами комп'ютерного моделювання із використанням програми GSC були підтверджені аналітичні результати для визначення безпечної траєкторії судна у реальній навігаційній обстановці, причому п'ять стратегій власного судна та зустрічних суден були прийняті при моделюванні.

Проблема виникнення ситуацій небезпечного зближення суден або їх зіткнення, на що звертається увага в роботі [50], часто викликана людською помилкою через неповну або домінуючу інформацію, причому із зростанням

морських перевезень вона стає все більш важливою. Для вирішення проблеми запропоновані підходи засновані на постачанні судноводіїв та служб руху суден безпечними траєкторіями для всіх суден, які засновані на принципах повного зовнішнього управління процесом розходження суден. У противагу в статті пропонується процедура планування траєкторії із використанням спеціалізованих алгоритмів узгодження траєкторій шляхом домовленостей досягнення рішення, яке буде прийнятним для всіх суден. Воно підпорядковується правилам попередження зіткнень, включає у себе динамічні моделі всіх суден та проведення переговорів з метою оптимізації траєкторій без зовнішнього управління. Всі компоненти, необхідні для вирішення проблеми попередження зіткнення з декількома суднами, поєднуються в процедурі, яка тестується у даний час у моделюванні на декількох випробувальних стендах.

Ряд особливостей завдання розходження суден в морі шляхом зміщення на паралельну лінію шляху розглянуто у монографії [51], причому відзначається, що підвищення ефективності попередження зіткнень зараз може досягатися створенням як нових алгоритмів, так і інтелектуальних систем. Для розходження в роботі застосовується одна стратегія – зміщення на паралельну лінію шляху під кутом до лінії вихідного курсу. Оптимальна стратегія за комплексним критерієм, який відображає вимоги до безпеки, завчасності, помітності та економічності маневру для запобігання зіткнення, знаходиться з множини можливих варіантів такої стратегії.

У роботах [52-54] зазначається, що завдання вибору оптимального маневру розходження є дуже складним, оскільки воно носить ігровий характер, а процес управління рухом судна є багатовимірним з нелінійними і нестационарними характеристиками.

У роботах [55-57] обговорюються питання екстреного маневрування суден для розходження в ситуації надмірного зближення.

У роботі [55] наведено процедуру розрахунку параметрів маневру розходження судна в ситуації надмірного зближення з урахуванням його

кутової швидкості, а спосіб формування стратегії екстреного розходження суден при їх надмірному зближенні викладено в роботі [56].

Проблему безпечного розходження суден з урахуванням особливостей їхньої взаємодії, що виникає при небезпечному зближенні й визначає процес розходження, розглянуто в роботі [57]. Запропоновано стратегію екстреного розходження при надмірному зближенні суден в ситуації відсутності координації та невизначеності їх подальшої поведінки.

Координованість бінарних взаємодій та їх ефективність розглянуто в роботі [58], також отримано аналітичні вирази для їх чисельної оцінки. При різних типах управління запропоновано математичну модель взаємодії групи суден, що небезпечно зближуються.

У роботі [59] обговорюється спосіб завчасного визначення ситуації зближення суден, який полягає в знаходженні моментів часу одночасного виходу їх на однакові широти та однакові довготи, користуючись інформацією про рух суден від АІС. Неминуче зіткнення суден відбудеться при збігу цих моментів часу, за їх значенням отримуємо час до зіткнення. Зіткнення не відбудеться, якщо ці моменти часу не однакові, оскільки судна не зможуть одночасно вийти в одну й ту ж позицію.

Питанням формування суднової безпечної зони і віртуальної області присвячені публікації [60, 61], у яких запропоновано математичні моделі, що містять системне врахування істотних факторів та орієнтовані на практичне використання в процесі плавання судна в різних умовах. Основною перевагою віртуальної області як зображення суднової безпечної зони з простору відносного руху в простір істинного руху є можливість її використання для безпечного розходження суден за наявності навігаційних перешкод у разі графічного зображення ситуації зближення на електроній карті [61].

Питанням удосконалення технології управління рухом суден у районах контролю СУРС методом повного зовнішнього керування присвячено роботу

[62], а в роботах [63-77] розглянуті питання вибору маневру розходження декількох суден зміною курсів.

У роботі [62] показано, що найефективнішим є сумісне зовнішнє управління СУРС суднами, що небезпечно зближуються, особливо в ситуаціях, коли число суден більше двох. Тому в роботі розроблена процедура розрахунку сумісного маневру розходження зміною курсу трьох суден для попередження їх зіткнення.

Аналітичні вирази меж небезпечної області курсів двох суден, що небезпечно зближуються, отримані в роботі [63], за допомогою якої можливий вибір їх курсів, що забезпечують безпечне розходження на заданій відстані. Наведені результати імітаційного моделювання, які дозволяють формування небезпечних областей курсів двох суден у графічному вигляді.

Процедура зображення небезпечної області парних курсів двох суден запропонована в роботах [64, 65], при яких дистанція найкоротшого зближення менше граничнодопустимої дистанції. Розглянуто графічний спосіб визначення безпечних курсів ухилення при небезпечному зближенні трьох суден.

У роботі [66] запропоновано процедуру розрахунку значень курсів трьох суден, що небезпечно зближуються, початкові позиції і параметри руху яких відомі. Одержана система нерівностей, що визначає умову безпечного розходження всіх трьох суден сумісним маневром зміни курсів у початковий момент часу. Показано можливий спосіб розв'язання системи нерівностей і визначення шуканих значень курсів судів шляхом формалізації областей їх неприпустимих значень.

Процедура розрахунку системою управління рухом суден зміни курсу одного або обох суден, що небезпечно зближуються, початкові позиції і параметри руху яких відомі, запропоновано в роботі [67]. Одержані вирази для похідних дистанції найкоротшого зближення за курсом одного з суден і за курсами обох суден, які характеризують швидкість зміни дистанції найкоротшого зближення при зміні курсів суден. Одержані інтегральні

рівняння, розв'язання яких дозволяє знайти необхідні для безпечного розходження прирости курсів одного або обох суден.

Роботу [68] присвячено питанням управління групи суден в ситуації небезпечного зближення, причому запропоновані різні принципи вибору сумісної стратегії розходження і проведено їхній аналіз, а питання вибору оптимальної стратегії управління суднами зміною курсів для безпечного розходження в умовах можливого зіткнення розглянуто в роботі [69].

У статті [70] представлений висновок умови існування непорожньої множини маневрів розходження пари суден зміною їхніх швидкостей і наведені аналітичні вирази одержаної умови з урахуванням обраного режиму гальмування суден.

Спосіб вибору безпечних курсів ухилення суден при зовнішньому управлінні за допомогою областей небезпечних курсів запропоновано в роботі [71]. Показано, що інерційність судна під час повороту веде до зниження дистанції найкоротшого зближення до величини меншої гранично-допустимої відстані. Обґрунтована залежність для розрахунку уточненого значення гранично-допустимої відстані з урахуванням інерційності судна і описана процедура вибору маневру зміни курсу одного з суден при незмінних параметрах руху іншого судна.

У роботі [72] розглянуто ситуативне збурення і наведені його характеристики, які спільно визначають значення збурення в різних ситуаціях. Одержано аналітичні залежності, що характеризують області постійних значень ситуативного збурення і запропоновано графічний спосіб оцінки його значення залежно від дистанції між суднами, гранично-допустимої дистанції і курсу судна з більшою швидкістю. Наведено приклад початкових ситуацій зближення суден, відповідних значенню ситуативного збурення рівного 1 і 2.

Ситуація небезпечного зближення суден в стислих водах розглянута в роботі [73], в якій неможливе безпечне розходження зміною курсу. Показано, що при зовнішньому управлінні попередження можливого зіткнення суден

досягається маневром зміни швидкостей суден за допомогою областей небезпечних швидкостей.

Отримано необхідні аналітичні вирази для формування областей небезпечних швидкостей. Сформульована умова існування маневру розходження зміною швидкості з урахуванням інерційних характеристик суден.

У роботі [74] розглянута система бінарної координації, яка регулює взаємодію пари суден в ситуації небезпечного зближення при їх стандартному маневруванні зміною курсу судна. Показано, що при формуванні системи бінарної координації необхідно враховувати вимогу закону необхідної різноманітності Ешбі. Отримані умови, що задовольняють вимогам закону необхідної різноманітності, які полягають в компенсації ситуативного збурення або обома суднами, або судном з більшою швидкістю.

У статті [75] розглянута процедура комп'ютерного графічного визначення оптимального маневру розходження двох суден, що небезпечно зближуються, зміною їх швидкостей при збереженні незмінних курсів. Наведений конкретний варіант небезпечної ситуації зближення і реалізація запропонованої процедури.

Два типи управління парою суден в умовах небезпечного зближення з метою попередження їх можливого зіткнення розглянуто в роботі [76]. Перший підхід до попередження зіткнення суден є загальноприйнятим в судноводінні локально-незалежним управлінням, за якого необхідна координація маневрів взаємодійних суден, що небезпечно зближуються. Тому в статті викладений принцип бінарної координації взаємодії пари суден при небезпечному зближенні у разі їх незалежного управління. Вказуються методи вибору оптимальної стратегії розходження при цьому типі управління.

Наводиться характеристика другого підходу до управління пари суден в ситуації небезпечного зближення, який здійснюється за допомогою принципу повного управління системою двох суден, що небезпечно зближуються,

зовнішнім управлінцем. Для цього типу управління розглядається можливість визначення безпечного маневру розходження зміною курсу використанням області небезпечних курсів. Також розглянута можливість безпечного розходження суден зміною швидкості при незмінних курсах, при цьому пропонується використання області небезпечних швидкостей при заданих початкових курсах. Розглянуті переваги зовнішнього управління суднами і можливі перспективи його використання.

У роботі [77] аналізується ситуація небезпечного зближення двох суден, що характеризується ситуативним збуренням, значення якого залежить від співвідношення дистанції найкоротшого зближення і гранично-допустимої дистанції. Причому ситуативне збурення може приймати значення, рівне одиниці, при якому розходження проводиться стандартним маневруванням, і значення, рівне двом, при якому використовується маневр екстреного розходження.

Розглянута система бінарної координації враховує вимогу закону необхідної різноманітності Ешбі, який передбачає відповідність різноманітності наявних курсів ухилення різноманітності можливих небезпечних курсів зближення. Показано, що ця вимога виконується при компенсації ситуативного збурення або одночасним маневром обох суден, або маневром судна з більшою швидкістю.

Система бінарної координації, яка запропонована в статті, містить два рівні, перший рівень реалізується, коли ситуативне збурення приймає значення, рівне одиниці, і взаємні обов'язки суден визначаються з урахуванням співвідношення їхніх статусів і швидкостей, а при значенні ситуативного збурення, рівного двійці, має місце другий рівень і передбачено екстрене маневрування обох суден.

Під час зближення двох суден з однаковими статусами і швидкостями їх взаємні обов'язки визначаються тим, чи є курси зближення зустрічними або супутніми.

У ряді публікацій [78-98] розглянуті питання моделювання руху судна в умовах обмеженого простору, що присвячені питанням виконання суднами різних маневрів, які сприяють більш ефективному і безпечному плаванню, що є одним із домінуючих напрямків наукових досліджень проблеми підвищення безпеки судноводіння.

Для різних типів морських рухомих об'єктів, що рухаються з постійною швидкістю, у роботі [78] пропонується уніфікована динамічна модель руху, що має вигляд нелінійного матричного диференційного рівняння, аналіз якого визначає вимоги до систем управління морськими рухомими об'єктами, причому вимоги формуються як задачі оптимального управління.

У роботах [79, 80] запропонована розробка високоточного управління судна в стислих умовах плавання на криволінійних ділянках руху, для чого застосована динамічна модель обертального руху судна третього порядку з урахуванням часу перекладки стерна під час повороту.

У роботі [81] наведено характеристики сучасних бортових автоматизованих систем, призначених для оцінки, прогнозу й оптимізації процесу судноводіння. Розглянуто методи прогнозу мореплавства, а також – принципи вибору рішень для забезпечення безпеки у штормових умовах. Відзначено особливості зображення інформації, наведено технічні характеристики їх функціональних можливостей.

У роботі [82] зазначається, що у більшості сучасних систем управління складними динамічними об'єктами використовуються нейронні мережі для формування керуючих впливів з допомогою моделі керованого об'єкта. Стверджується, що до класу так званих невизначених об'єктів відносяться морські рухомі об'єкти і, зокрема, морські судна.

Питання про вплив відстояння рульового органу від центру мас судна на зв'язок між кутом його дрейфу і кутовою швидкістю розглянуто в роботі [83].

У роботі [84] формалізовано систему синтезу управління рухом судна при стабілізації на траєкторії з використанням точнісного й економічного

критеріїв з використанням нелінійної моделі судна і зовнішніх збурень. Пропонується ідентифікація математичної моделі судна з використанням багатоальтернативної фільтрації та обґрунтовується застосування лінійно-квадратичного методу.

Математичні моделі оптимізації параметрів водних шляхів у вигляді цільових функцій запропоновано в роботі [85]. Результати оптимізації підтверджені імітаційним моделюванням повороту на фарватері Свіноуйсце - Щецин, а також західного поромного причалу Центрум в Свіноуйсьце.

У забезпеченні безпеки судноводіння важливу роль відіграють навігаційно-інформаційні системи (НІС) судна, на що вказується в роботі [86]. У ній представлена детальна інформація про НІС на електронних картах, розглянуто принципи зображення навігаційної інформації НІС, наведені дані функціональних можливостей. Проведено аналіз сучасних датчиків оперативної навігаційної інформації з характеристикою обмежень та недоліків розглянутих систем.

Зростання вантажопідйомності сучасних суден для їх безпечного плавання спричиняє необхідність упровадження вдосконалених комп'ютерних систем, що відзначається в роботі [87], у яких застосовуються засоби прогнозу руху суден, які успішно використовуються протягом тривалого часу. Однак спрощені прогнози обмежують їх використання в частині термінового зображення руху судна при зміні положення пера стерна та обертів двигуна. Для необхідної точності реалізації криволінійної траєкторії руху судна потрібна розробка більш вдосконалених прогнозних моделей руху судна.

Структура системи управління рухом швидкісних суден пропонується в роботі [88], яка складається із двох рівнів: стратегічного і виконавчого. Визначається структура дворівневої системи та наводиться її склад на прикладі двох типів швидкісних суден. Крім того, наведені підходи до проектування підсистем керування.

Питання управління судном в екстремальних умовах розглянуто в роботі [89]. Передбачено проведення розрахунку впливу всіх зовнішніх сил, які відносяться до ситуації складних умов. Розглянуто основні принципи оцінки впливу зовнішніх сил на управління судном та можливість їх використання в екстремальних умовах, включаючи роботу буксирів.

Нелінійна задача управління морським об'єктом для його утримання в заданій точці і з заданим курсом розглядається в роботі [90]. Формування заданого закону управління потребує синтезу алгоритму нелінійного фільтра Калмана з локальними ітераціями, яким оцінюється поточний стан системи. У роботі наведені результати моделювання, які показують, що утримання судна можливо з точністю 4-8 м відносно заданої точки при стабілізації курсу в межах не гірше 2° .

Інтенсивно проводиться розробка інформаційної системи імітаційного моделювання руху суден зі складними динамічними моделями, як вказується у роботі [91], причому параметри руху судна залежать від кута кладки пера стерна і обертів двигуна. Новий тип планування маневрів судна та поточний контроль заданого маневру забезпечить дана система в разі її впровадження. У процесі маневрування передбачено зображення заданих маневрів одночасно з поточним рухом самого судна та з індикацією прогнозованої траєкторії за реальними вхідними даними від датчиків судна.

В роботі [92] наведені результати оцінки адекватності прийнятої до розгляду математичної моделі шляхом дослідження впливу додаткових її нелінійних членів на режими руху судна. Залежно від зміни вітру змінюється біфуркаційна картина, на що звернуто увагу в роботі. До алгоритму авторульового було введено інтелектуальну складову, що дозволило істотно підвищити його ефективність та подолати певний рівень некерованості.

У статті [93] розглянуто послідовне навчання контролера штучної нейронної мережі, який призначений для автоматичного причалювання суден, за новою концепцією під назвою "віртуальне вікно", чим забезпечується

мінімальний за часом маневр швартування. Такі отримані та узгоджені дані використовуються для навчання двох багатошарових нейронних мереж за кладкою пера стерна та реверсу енергетичної установки. Після завершення навчання нейронних мереж моделюванням за методом Монте-Карло проводилася оцінка ефективності пропонованого контролера. Після отримання прийняттого відсотка успіху навчені мережі використовуються для експерименту з моделлю судна. З урахуванням безпеки судно за допомогою контролера виводиться в фінішну позицію, в якій судно знаходиться на деякій відстані від пірсу. У статті ставиться питання доцільності проведення дослідження необхідності автоматичної допомоги буксира під час швартування судна.

Стаття [94] присвячена обговоренню питань розробки системи управління курсом судна авторульовим з використанням принципів нечіткої логіки. Розглядаються питання адаптації системи з урахуванням складної динаміки судна та нелінійності його математичної моделі при змінюваних умовах роботи системи.

У роботі [95] відзначається, що ідентифікація суднових моделей маневрування – це ключ до дослідження маневреності судна, розвитку систем управління судновими тренажерами та проектування систем управління рухом суден. У роботі сформована нелінійна модель маневрування судна, яка базується на основі аналізу гідродинаміки судна. Для оцінки параметрів моделі використовується теорія ідентифікації систем, а для розрахунку самих параметрів пропонується алгоритм, заснований на розширеній теорії фільтра Калмана. На імітаторі управління судном виконувались циркуляція та зигзагоподібний маневр, дані за якими використовувалися для отримання вхідних та вихідних даних системи, необхідних для ідентифікації параметрів експерименту. Похибки, внесені під час процесу вимірювання, усуваються за допомогою цього алгоритму.

В роботі [96] введені коефіцієнти впливу значень параметрів математичної моделі судна на його маневрені характеристики. Визначені

коефіцієнти впливу для радіусу сталої циркуляції судна, висуви та початкової поворотності судна.

Інтелектуальна система прогнозування руху судна розглянута в роботі [97]. Вона імітує процес навчання автономного блоку керування, який створено за допомогою штучної нейронної мережі. Спостерігаючи вхідні сигнали, блок керування обчислює значення необхідних параметрів маневрування судна в стислих водах. Безперервний контроль навігаційних параметрів судна та прогноз їх значень є основним завданням системи, причому в статті наголошується, що результат прогнозування може попереджувати судноводія про виниклу загрозу.

Безпілотний автономний морський об'єкт коротко описаний в статті [98], причому предмет дослідження стосується комбінованої моделі руху транспортного засобу, яка включає в тому числі навантаження підйомної сили та гідродинамічного характеру. Гравітаційні сили та переміщення, опір та сили тяги, підйомні сили та інші гідродинамічні сили враховуються наведеною моделлю. Завдання забезпечення високоточного прогнозу положення транспортного засобу є одним з основних у проведеному дослідженні, що потребує розробки інтегрованої моделі формування, аналізу та обробки сигналів, які необхідні для точного управління курсом транспортного засобу. Обладнання системою стабілізації є необхідною умовою структури транспортного засобу. Інформація про комплексний підхід проектування рульового управління, системи стабілізації та позиціонування транспортного засобу коротко представлена в роботі.

Аспекту точності контролю місця судна, проблеми забезпечення безпеки судноводіння в стислих умовах плавання присвячені роботи [99-119]. Питанням забезпечення високої точності плавання суден в стислих районах методами кореляційної навігації присвячені статті [99, 100].

Стратегія формування радіонавігаційного поля на території РФ викладена в публікації [101]. Враховується комплекс обмежень, які визначені міжнародними вимогами, перш за все ІМО, значною протяжністю і вельми

істотними фізико-географічними відмінностями внутрішніх водних шляхів різних регіонів Росії.

У роботі [102] пропонується методика підготовки бібліотеки маршрутів. Вона дозволяє створити маршрут плавання і дає можливість судноводію контролювати поточне положення судна щодо заданого з високою точністю, забезпечуваною диференціальною підсистемою без використання електронних карт.

Результати дослідження можливості опису систем залежних випадкових величин за допомогою узагальненого розподілу Пуассону з базовим нормальним розподілом наведено в роботі [103].

Похибки вимірювань навігаційних параметрів розглянуто в роботах [104, 105]. У роботі [106] показана залежність між точністю і надійністю навігації, а основи теорії випадкових похибок навігаційних вимірювань подано в роботі [3].

Аналітичні вирази для оцінки вірогідності навігаційної безпеки плавання за наявності нерівноточних корельованих похибок положення межі фарватеру отримано в роботі [107]. Достовірність отриманих залежностей доведена методом статистичного моделювання.

У роботі [108] показано, що диференціальні методи коригують похибки у визначенні місцеположення за системою GPS, проте поправки можуть виявитися недостатніми з часом і зі збільшенням відстані користувача системи від станції нульового відліку. Показано, що похибки зростають при збільшенні відстані навігаційного приймача системи DGPS від базової станції, причому похибка складає 1 м на кожні 150 км відстані від базової станції. Щоб оцінити реальну похибку приймача, шість таких приймачів були розміщені вздовж португальського узбережжя через 50 миль на північ і південь від станції відліку Sagres Broadcast Station. Отримані дані показали, що реальна похибка позиціювання складає 0,22 м на кожні 100 км відстані від станції відліку, що менше теоретичного значення. Похибки в позиціюванні можуть бути вищими в портах за відсутності прямої видимості супутника.

У роботі [109] розглядається завдання позиціювання судна в заданому положенні при наявності управління тільки за даними сигналів про момент ризику і силу подовжнього зносу. Для розв'язання вказаного завдання в роботі запропонований змінний в часі метод управління зі зворотним зв'язком, причому враховується складова управляючої дії за інтегралом.

На базі теоретичних розробок і їх зіставлення з вимогами ІМО за точністю судноводіння в роботі [110] пропонуються розрахункові методи визначення значень допустимих величин середніх квадратичних похибок навігаційних параметрів для забезпечення безпеки плавання в різних зонах руху.

У роботі [111] представлені результати дослідження можливості застосування початкових поправок станції Dziwnow в районі порту Щецин при використанні радіонавігаційної системи DGPS, яке показало доцільність врахування таких поправок. У роботі також вказано, що вимірювання, які були проведені під час досліджень, і отримані результати сприятимуть ширшому застосуванню системи DGPS для навігаційних цілей в порту Щецин.

У роботі [112] наведені моделі для оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих районах, в яких обмеженість виражається у вигляді розподілу частот бічних відстаней від середини фарватеру до його меж. Вірогідність безпечного плавання заданим маршрутом розраховується при відомій щільності розподілу похибки бічного відхилення судна і тривалості маршруту.

Аналіз різних підходів оцінки точності визначення місця судна за допомогою приймача супутникової радіонавігаційної системи наведено в роботі [113]. Аналіз статистичних матеріалів показав, що припущення про розподіл випадкових похибок визначення широти і довготи за законом Гауса не є коректним і вимагає альтернативного підходу.

Значний внесок в рішення проблеми підвищення точності контролю місця судна містять роботи [114-116] передусім розробкою теоретичних

методів зниження впливу систематичних і випадкових похибок вимірювань на точність обсервацій.

Як вказується в роботі [117], для входу судна в гавань, розташовану на відкритому морському узбережжі, в штормових умовах існують обмеження. При сильному хвилюванні судно, що входить в гавань, може мати небезпечні зсуви щодо планованої траєкторії, що може призвести до зіткнення судна з хвилеломом. На базі виконаних натурних досліджень траєкторій руху судна розроблені індекси, що оцінюють безпеку входу.

При проектуванні відбійних пристроїв для установки на биках великих мостів, розташованих над фарватерами з інтенсивним судноплавством, як вказується в статті [118], необхідно враховувати вірогідність зіткнення суден з биками.

У роботі [4] запропонований новий підхід до моделі формування випадкових величин навігаційних вимірювань, який відрізняється від моделі, запропонованої для обґрунтування нормального закону розподілу вірогідності випадкових величин.

У роботі [119] розглянуто закони розподілу вірогідності, яким можуть бути підлеглі похибки вимірювань навігаційних параметрів. Досліджується залежність точності обсервованих координат судна від точності і числа ліній положення, закону розподілу їх похибок, а також методу розрахунку обсервованих координат. Отримані аналітичні вирази оцінки ефективності обсервованих координат, розрахованих методом найменших квадратів при надмірних лініях положення, закон розподілу яких відрізняється від закону Гаусу. Коректність отриманих аналітичних виразів підтверджена комп'ютерним імітаційним моделюванням. Для 12 вибірок випадкових похибок навігаційних вимірювань, сформованих в результаті натурних спостережень, визначені закони розподілу вірогідності, які в своїй більшості відносяться до змішаних законів обох типів.

У роботах [73, 75, 76, 120-129] розглянуто питання зовнішнього управління процесом розходження суден маневром зміни їх швидкостей, отриманого за допомогою областей небезпечних швидкостей.

1.2. Вибір напрямку дисертаційного дослідження

Виконаний огляд і аналіз літературних джерел з питань вирішення проблеми забезпечення безаварійного судноводіння показав, що основним аспектом вирішення проблеми зниження навігаційної аварійності суден є попередження їх зіткнень за рахунок удосконалення 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 обмежених районах плавання, у яких управління суднами часто здійснюється СУРС.

Як впливає з попереднього розділу, основні розробки з проблеми попередження зіткнень суден присвячені локально-незалежному управлінню процесом розходження суден, хоча все ширше застосовується принцип повного управління процесом розходження зовнішнім агентом. З другого боку, розробка цього напрямку попереджень зіткнень суден знаходиться в початковому стані, - розроблений спосіб вибору оптимального маневру розходження декількох суден з використанням області небезпечних курсів суден. Дослідження в цьому напрямі продовжені в даний час: розроблені процедури врахування інерційності суден під час повороту і наявних навігаційних перешкод, що знаходяться в районі маневрування. При цьому модифікований спосіб формування області небезпечних курсів і вибір з її допомогою оптимального маневру розходження реалізовано в комп'ютерній програмі, що забезпечує оперативність і простоту використання запропонованого способу.

Проте в стислих водах часто виникають ситуації, коли судна, що небезпечно зближуються, не можуть змінювати початковий курс, тому виникає необхідність шукати маневр розходження зміною швидкостей суден.

Тому завдання розробки способу вибору маневру розходження зміною швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей при зовнішньому управлінні процесом розходження суден, реалізованого комп'ютерним інформаційним забезпеченням, що підвищує оперативність, простоту і надійність способу, є перспективною і актуальною тематикою. Цим і зумовлюється вибір напряму досліджень даної дисертаційної роботи.

1.3. Висновки за першим розділом

У першому розділі 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 попередження зіткнень суден у прибережних районах плавання, моделювання руху судна під час плавання в стислих районах, що сприяє їх більш ефективному і безпечному плаванню, та забезпечення точності контролю місця судна й оцінка безпеки судноводіння в стислих умовах.

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

У розділі виявлений основний напрям дисертаційного дослідження, який присвячений розробці способу вибору безпечного маневру розходження суден зміною їх швидкостей при зовнішньому управлінні за допомогою області небезпечних швидкостей.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Визначення теми наукового дослідження

У результаті аналізу, проведеного в попередньому розділі, було встановлено, що одним з найактуальніших аспектів забезпечення безпеки судноводіння є попередження зіткнень суден під час плавання в стислих водах, тому дисертаційне дослідження присвячене формуванню області небезпечних швидкостей суден для розробки способу вибору маневру розходження зміною їх швидкостей при зовнішньому управлінні процесом розходження.

Для розв'язання вказаної задачі необхідна, по-перше, розробка способу формування області небезпечних швидкостей суден, що зближуються, для чого слід отримати аналітичні вирази, що описують межі області небезпечних швидкостей. По-друге, на базі отриманої процедури формування області небезпечних швидкостей необхідно забезпечити графічне зображення області і розробити спосіб оцінки безпеки ситуації зближення суден і у разі потреби вибору маневру безпечного розходження зміною швидкостей суден. Розроблені процедури необхідно реалізувати у вигляді комп'ютерної програми, що забезпечить оперативність, простоту і надійність запропонованого способу.

Отже, проблема попередження зіткнень суден розробкою сучасних способів вдосконалення процесу розходження, що мають комп'ютерну реалізацію, є актуальною і перспективною, і це дозволяє обрати тему дисертації, яка формулюється таким чином: “Розробка способу вибору

маневру розходження зміною швидкостей суден при їх зовнішньому управлінні”.

Для розв’язання завдання із вказаної проблематики слід розглянути наступні основні питання:

- виконати декомпозицію головної задачі дисертаційного дослідження на декілька допоміжних задач, використовуючи методи системного підходу;
- розробити процедуру формування області небезпечних швидкостей, отримавши аналітичні вирази її меж;
- сформувати спосіб комп’ютерного графічного зображення області небезпечних швидкостей з метою оцінки ситуації зближення суден і вибору маневру безпечного розходження зміною їх швидкостей;
- розробити комп’ютерну імітаційну програму програвання обраного 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 обмежених районах плавання.

Розробка способу формування області небезпечних швидкостей суден і процедури оцінки безпеки ситуації зближення і вибору параметрів маневру розходження суден зміною швидкостей може 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 процес руху суден в стислих умовах.

Предметом дослідження є маневр розходження суден.

2.2. Характеристика методів дослідження дисертаційної роботи

На рис. 2.0 наведена технологічна карта методологічного забезпечення дисертаційного дослідження, яка є характеристикою розв'язання головного завдання дисертаційної роботи методами системного підходу.

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

Мета дисертаційного дослідження – підвищення безпеки судноводіння шляхом удосконалення методів попередження зіткнень суден шляхом розробки способу оптимального вибору маневру їх розходження зміною початкових швидкостей за допомогою області небезпечних швидкостей.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийнято допущення про існування можливості підвищення оперативності і простоти вибору маневру розходження судна з небезпечною ціллю зовнішнім управлінням процесом розходження способом зниження швидкостей, заснованим на використанні області небезпечних швидкостей.

Головна задача дисертаційного дослідження – створення нового способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням швидкостей, який реалізований в комп'ютерному модулі, та відрізняється принципом зовнішнього управління процесом їх розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей.

Для розв'язання головної задачі дисертації було здійснено її декомпозицію на допоміжні задачі, для чого були використані методи системного аналізу. Виявилось доцільним розділити головну задачу дисертаційного дослідження на наступні три допоміжні:

1. Формування області небезпечних швидкостей за допомогою розрахунку її меж.

2. Визначення умов існування множини допустимих маневрів розходження суден.

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА

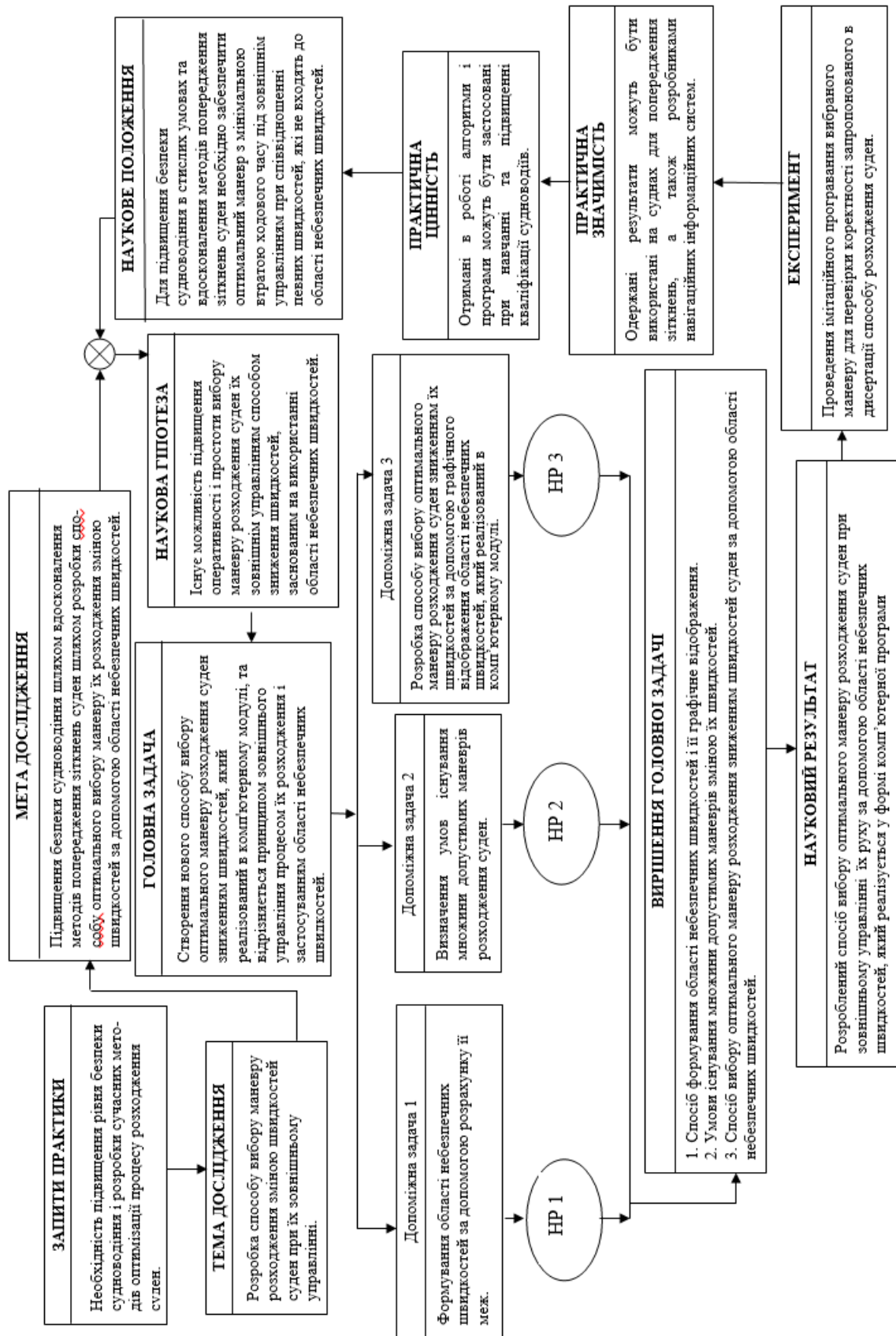


Рис 2.0 Технологічна карта

3. Розробка способу вибору оптимального маневру розходження суден зниженням їх швидкостей за допомогою графічного відображення області небезпечних швидкостей, яка реалізована в комп'ютерному модулі.

Вирішення першого допоміжної задачі вимагає передусім знаходження умов, які забезпечують існування не порожньої множини допустимих маневрів розходження суден зміною швидкостей. Оскільки засобом зміни швидкостей суден під час процесу розходження прийняте активне і пасивне гальмування, тому під зміною швидкостей суден слід розуміти їх зниження. Отже, для отримання шуканих умов існування потрібне залучення аналітичного апарату диференціальних рівнянь, що описують процеси зміни швидкості при активному і пасивному гальмуванні. У результаті рішення рівнянь гальмування необхідно отримати аналітичні вирази для тривалості процесів гальмування, вибігу судна і залежності поточної швидкості гальмування від часу. Маючи в своєму розпорядженні характеристики активного і пасивного гальмування судна і задаючись початковими і кінцевими швидкостями суден, можна оцінити прогнозовану дистанцію найкоротшого зближення і за співвідношенням її величини з гранично-допустимою дистанцією зближення можна зробити висновок про існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей.

Формування області небезпечних швидкостей і розрахунок її меж є першою допоміжною задачею дисертаційного дослідження. За визначенням, областю небезпечних швидкостей є область в системі координат швидкостей суден, кожна крапка (значення швидкостей суден) якої характеризується дистанцією найкоротшого зближення зі значенням, меншим гранично-допустимої дистанції. Для отримання рівнянь меж області небезпечних швидкостей необхідно записати рівняння, яке в правій частині містить вираз для прогнозованої дистанції найкоротшого зближення, а в лівій – значення гранично-допустимої дистанції. Потім дане рівняння необхідно перетворити, отримавши функціональну залежність швидкості одного судна від швидкості другого судна, яка і є рівнянням межі області небезпечних швидкостей. Слід

зазначити, що в кожній точці межі дотримується рівність прогнозованої дистанції найкоротшого зближення і граничної-допустимої дистанції.

Друга допоміжна задача полягає у перевірці умов існування множини допустимих маневрів розходження суден. Після оцінки сформованої області небезпечних швидкостей необхідно перевірити чи є можливим маневр безпечного розходження. Множина допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей є існуючою при послідовному виконанні трьох умов: перша – підтвердження можливості зміни відносного курсу при зміні швидкостей суден використовуючи вираз першої похідної; друга – розраховані коефіцієнти лінійних функцій меж області небезпечних швидкостей мають не однакове значення; третє - підтвердження можливості виконання маневру розходження враховуючи інерційність руху суден та тип гальмування кожного з них.

Третьою допоміжною задачею дослідження є розробка графічного способу комп'ютерного зображення області небезпечних швидкостей і вибір з її допомогою оптимального маневру розходження зниженням швидкостей суден. Для розв'язання вказаного завдання слід розробити комп'ютерну програму, що містить окремі модулі розрахунку меж області небезпечних швидкостей, її формування і зображення на екрані монітора з метою вибору оптимальних параметрів маневру розходження суден з подальшим його програванням.

Така імітаційна програма може бути основою для розробки навігаційної інформаційної системи, що забезпечує вибір оптимального маневру розходження суден при їх зовнішньому управлінні.

Імітаційна програма повинна містити наступні модулі:

- модуль формування початкової ситуації небезпечного зближення пари суден;
- модуль розрахунку меж області небезпечних швидкостей суден і її графічного зображення;

- модуль вибору оптимального маневру розходження суден зміною їх швидкостей, причому повинно бути передбачено два варіанти оптимізації маневру розходження з використанням зниження швидкостей суден активним і пасивним гальмуванням;

- модуль програвання маневру з використанням комп'ютерної графіки.

Під час розв'язання кожної з допоміжних задач було отримано відповідні наукові результати, які позначені НР1, НР2 і НР3:

- науковим результатом першого складового завдання НР1 є спосіб формування області небезпечних швидкостей, розрахунок її меж і графічне зображення;

- умови, що визначають можливості існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей є науковим результатом НР2 другої допоміжної задачі;

- спосіб вибору оптимального маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей є науковим результатом НР3 третього складового завдання.

За допомогою розробленої комп'ютерної програми слід провести імітаційне моделювання для перевірки результатів дисертаційного дослідження в частині коректності методу вибору оптимального маневру розходження суден зниженням їхніх початкових швидкостей при застосуванні різних варіантів активного та пасивного гальмування кожного із суден, що небезпечно зближуються.

Прийняту наукову гіпотезу про існування можливості підвищення оперативності і простоти вибору маневру розходження суден при їх зовнішньому управлінні підтверджено отриманими в дисертаційній роботі теоретичними результатами та імітаційним моделюванням.

Проведеному дисертаційному дослідженню властива практична значущість, яка полягає у тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна для попередження зіткнень, а також використані розробниками

навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління суднами.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи визначається тим, що отримані в роботі теоретичні результати і програми можуть бути застосовані під час навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

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

Розроблено новий метод вибору оптимального маневру розходження суден зниженням швидкостей, який реалізовано в комп'ютерному модулі і відрізняється принципом зовнішнього управління процесом їх розходження та застосуванням області небезпечних швидкостей.

2.3. Короткий зміст методики проведення дослідження з теми дисертації

Короткий виклад методики проведення дисертаційного дослідження з теми роботи із вказівкою вживаних для цього методів є змістом даного розділу.

Як впливає з рекомендацій щодо організації і проведенню наукових досліджень, за допомогою методів дедукції необхідно зробити аналіз основних підходів рішення проблеми безпеки судноводіння, у результаті якого можливо здійснити вибір основного напрямку і теми дисертаційного дослідження.

Декомпозиція головної задачі дисертації на три допоміжні є другим етапом роботи і виконується методами системного аналізу, за допомогою яких також забезпечується методологічне обґрунтування дисертаційного дослідження. Надалі вимагається сформулювати і знайти аналітичні вирази для умов існування множини маневрів розходження зниженням швидкостей

суден. Для цього слід знайти залежність зміни відносного курсу від зниження швидкостей суден, які розходяться, що дозволить оцінити значення прогнозованої дистанції найкоротшого зближення. Зіставляючи його з величиною гранично-допустимої дистанції зближення отримаємо алгоритм перевірки існування множини маневрів розходження. Для врахування впливу інерційно-гальмівних характеристик суден на можливість розходження в необхідній дистанції слід використовувати аналітичні вирази характеристик процесів активного і пасивного гальмування.

Черговим етапом виконання дисертаційної роботи є розробка процедури розрахунку меж області небезпечних швидкостей, аналітичні вирази для яких представляють залежність швидкості одного судна від швидкості іншого судна за умови рівності значень прогнозованої найкоротшої і гранично-допустимої дистанцій. Потім необхідно розробити спосіб комп'ютерного зображення сформованої області небезпечних швидкостей і оцінки ступеня небезпеки ситуації зближення суден, що склалася.

При існуванні множини допустимих маневрів розходження суден зниженням швидкостей необхідно розробити процедуру вибору оптимального маневру розходження. Як критерій оптимальності доцільно обрати втрати ходового часу суден, які повинні бути мінімізовані. Слід врахувати ту обставину, що існують два варіанти вибору оптимального маневру: по-перше, при заданих швидкостях розходження суден необхідно обрати час початку їх гальмування, мінімізуючи критерій оптимальності; по-друге, гальмування суден починається в нульовий момент часу, мінімізація критерію оптимальності досягається вибором їх швидкостей розходження.

Наступним етапом роботи є розробка комп'ютерного модуля оптимізації маневру розходження, в якому передбачені обидва варіанти вибору оптимального маневру з індикацією його параметрів. За наявності чинників, що заважають, слід передбачити можливість оцінки параметрів безпечного маневру розходження найближчого до оптимального.

У закінченні роботи необхідно сформувати модуль програмування маневру розходження зниженням швидкостей як засіб перевірки коректності

процедури вибору маневру розходження в заданій ситуації небезпечного зближення.

2.4. Характеристика елементарної групи суден.

Елементарною групою S_{12} суден називатимемо пару рухомих суден c_1 і c_2 , стан якої характеризується параметрами істинного руху V_1, K_1, V_2, K_2 і параметрами відносної позиції D, α (рис. 2.1). Причому допускаємо, що судно c_2 домінує по швидкості над судном c_1 , тобто $V_2 \geq V_1$.

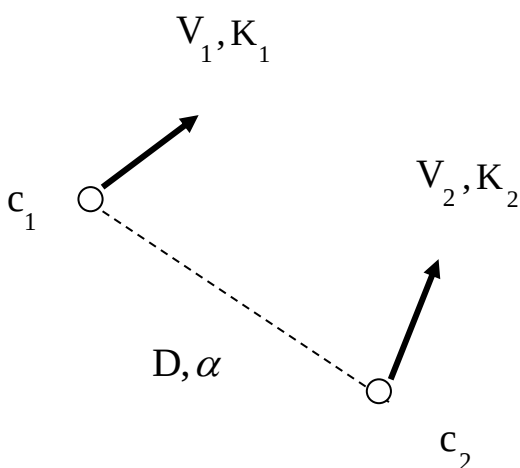


Рис. 2.1. Характеристика істинного руху елементарної групи S_{12}

Судно c_2 у відносному русі вважаємо нерухомим, тому елементарна група суден S_{12} характеризується параметрами $V_{ot}, K_{ot}, D, \alpha$, причому пеленг α і дистанція D характеризують відносне положення, а V_{ot} і K_{ot} - відносний рух (рис. 2.2).

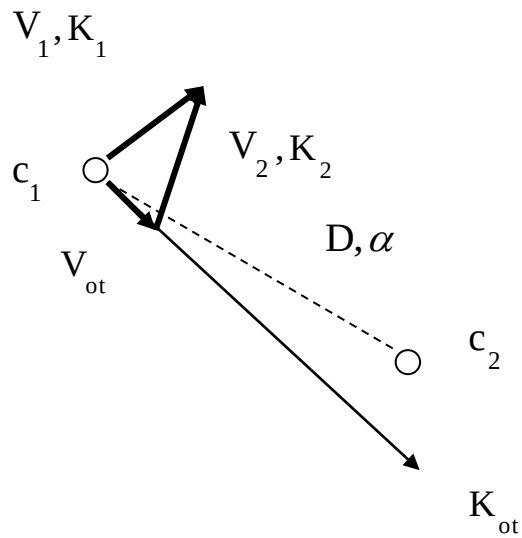


Рис. 2.2. Параметри відносного руху елементарної групи S_{12}

Розглянемо зв'язок параметрів відносного і істинного руху, для чого позначимо проекції сумарної відносної швидкості V_{otx} (по меридіану) і V_{oty} (по паралелі), причому:

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

$$V_{ot} = \sqrt{V_{otx}^2 + V_{oty}^2}, \quad \text{або}$$

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

$$K_{ot} = \begin{cases} \psi, & \text{при } V_{otx} > 0, V_{oty} > 0, \\ \pi - \psi, & \text{при } V_{oty} < 0, \\ 2\pi + \psi, & \text{при } V_{otx} < 0, V_{oty} > 0 \end{cases}, \quad (2.1)$$

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

Досліджуємо закономірності зміни відносного курсу K_{ot} при зміні істинного курсу одного з суден. При цьому спочатку зробимо це безвідносно до конкретного судна c_1 або c_2 . Для цього через K_o позначений істинний курс судна, що виконує поворот, а його швидкість - V_o . Аналогічно для судна, що зберігає незмінний курс, параметри руху позначені K_c і V_c .

Вираз першої похідної відносного курсу по істинному курсу судна, тобто, з урахуванням (2.1), має наступний вигляд:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} = \frac{\partial \psi}{\partial K_o}.$$

Оскільки $\psi = \arcsin\left(\frac{V_{otx}}{\sqrt{V_{otx}^2 + V_{oty}^2}}\right)$, то перша похідна цього виразу приймає наступний вигляд:

$$\frac{\partial \psi}{\partial K_o} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_{otx}^2}{(V_{otx}^2 + V_{oty}^2)}}} \frac{\partial}{\partial K_o} \left(\frac{V_{otx}}{\sqrt{V_{otx}^2 + V_{oty}^2}} \right).$$

Справедлива рівність:

$$\frac{\partial}{\partial K_o} \left(\frac{V_{otx}}{\sqrt{V_{otx}^2 + V_{oty}^2}} \right) = \frac{\frac{\partial V_{otx}}{\partial K_o} (V_{otx}^2 + V_{oty}^2)^{1/2} - V_{otx} \frac{\partial}{\partial K_o} [(V_{otx}^2 + V_{oty}^2)^{1/2}]}{V_{otx}^2 + V_{oty}^2}.$$

$$\text{Враховуючи, що } \frac{\partial}{\partial K_o} [(V_{otx}^2 + V_{oty}^2)^{1/2}] = \frac{\frac{\partial V_{otx}}{\partial K_o} V_{otx} + \frac{\partial V_{oty}}{\partial K_o} V_{oty}}{\sqrt{V_{otx}^2 + V_{oty}^2}}, \text{ і з}$$

урахуванням позначень $\frac{\partial V_{otx}}{\partial K_o} = \dot{X}_k$ і $\frac{\partial V_{oty}}{\partial K_o} = \dot{Y}_k$, одержимо вираз для шуканої похідної:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} = \frac{\dot{X}_k (V_{otx}^2 + V_{oty}^2) - V_{otx} (V_{otx} \dot{X}_k + V_{oty} \dot{Y}_k)}{V_{oty} (V_{otx}^2 + V_{oty}^2)},$$

або після перетворень:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} = \frac{\dot{X}_k V_{oty} - \dot{Y}_k V_{otx}}{V_{otx}^2 + V_{oty}^2}, \quad (2.2)$$

де $\dot{X}_k = V_o \cos K_o$, $\dot{Y}_k = -V_o \sin K_o$.

Дослідимо зміну відносного курсу K_{ot} залежно від курсу судна K_o , для чого достатньо дослідити знак чисельника виразу (2.2). Враховуємо, що:

$$V_{otx} = V_o \sin K_o - V_c \sin K_c \quad \text{і} \quad V_{oty} = V_o \cos K_o - V_c \cos K_c,$$

звідки слідує:

$$\begin{aligned} (\dot{X}_k V_{oty} - \dot{Y}_k V_{otx}) &= V_o [V_o - V_c (\cos K_o \cos K_c - \sin K_o \sin K_c)] = \\ &= V_o [V_o - V_c \cos(K_o - K_c)]. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Очевидно, знак $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ відповідає знаку виразу $V_o - V_c \cos(K_o - K_c)$.

Аналіз виразу $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ (3.3) показує, що при нерівності $V_2 > V_1$ для будь-

якої зміни курсу судном s_2 вираз $V_2 - V_1 \cos(K_2 - K_1)$, як і величина $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_2}$,

позитивні для всіх значень K_2 . На рис. 2.3. показана залежність зміни відносного курсу K_{ot} при повороті судна s_2 на курс K_2 .

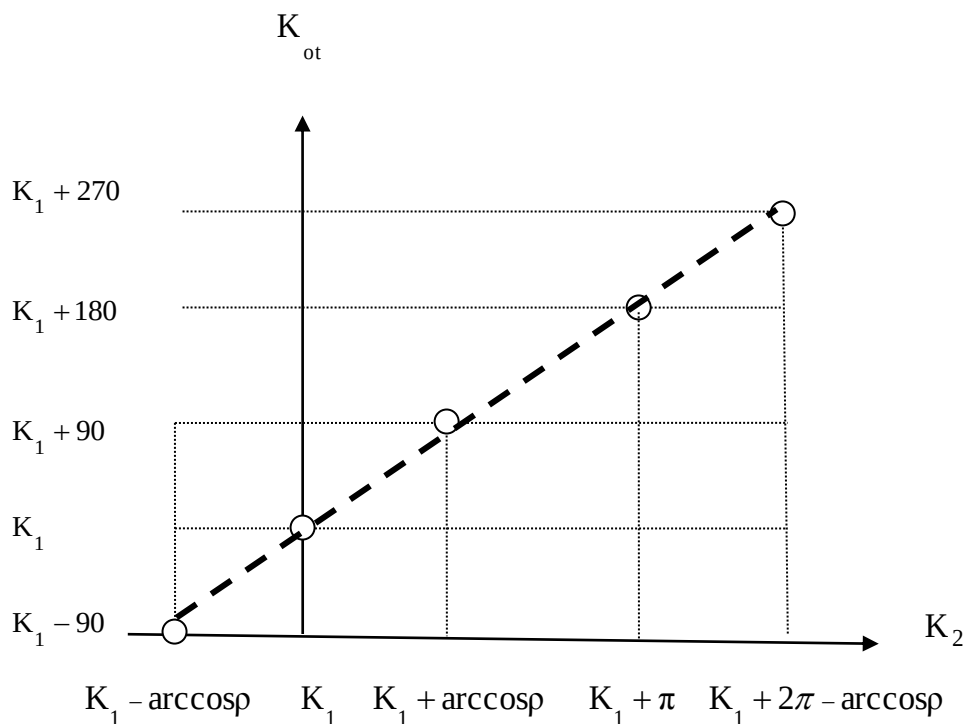


Рис. 2.3. Зміна відносного курсу K_{ot} при повороті судна c_2

Звертаємо увагу, що при зміні курсу K_2 відносний курс K_{ot} може приймати будь-які значення від 0 до 2π . Зокрема відносний курс приймає значення $K_1 + \frac{\pi}{2}$ при значенні курсу K_2 , рівного $K_1 + \arccosp$, і значення відносного курсу $K_1 + \frac{3\pi}{2}$ досягається при рівності $K_2 = K_1 - \arccosp$, де прийняте позначення $\rho = \frac{V_1}{V_2}$.

Залежність відносного курсу K_{ot} від курсу судна K_2 при швидкостях суден $V_1 = 10$ вузлів, $V_2 = 20$ вузлів і $K_1 = 315^\circ$ показана на рис. 2.4, на якому прийняті наступні позначення:

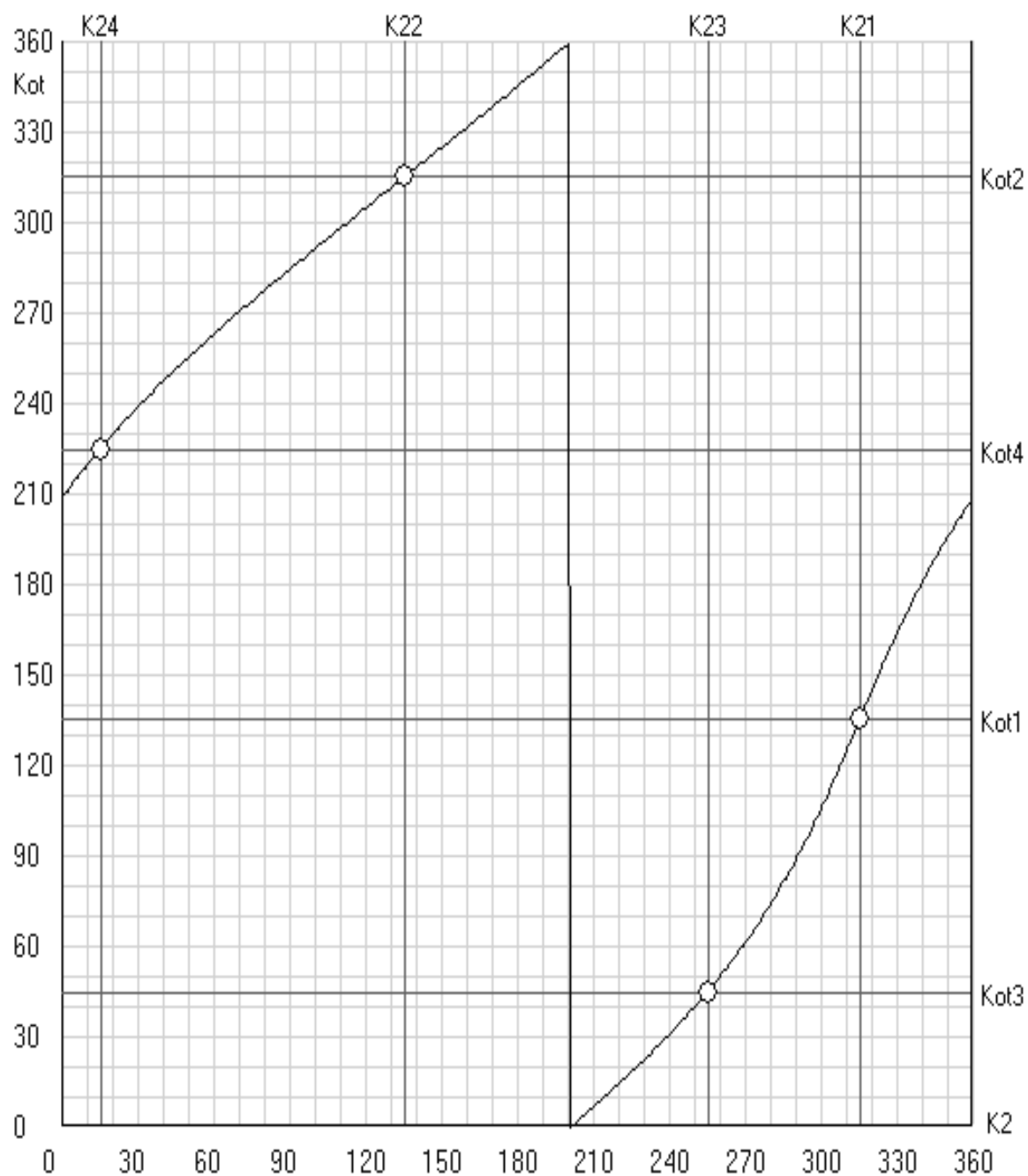


Рис. 2.4. Залежність відносного курсу K_{ot} від курсу судна c_2

$$K_{21} = K_1, \quad K_{22} = K_1 + \pi,$$

$$K_{23} = K_1 - \arccos p, \quad K_{24} = K_1 + \arccos p,$$

$$K_{ot1} = K_1 + \pi, \quad K_{ot2} = K_1,$$

$$K_{ot3} = K_1 + \frac{\pi}{2}, \quad K_{ot4} = K_1 + \frac{3\pi}{2}.$$

Як показано на рис. 2.5, відносна швидкість V_{ot} при зміні курсу K_2 досягає екстремальних значень $V_{ot1} = \min V_{ot} = V_2 - V_1$ при курсі $K_2 = K_{21} = K_1$ і $V_{ot2} = \max V_{ot} = V_2 + V_1$ при курсі $K_2 = K_{22} = K_1 + \pi$.

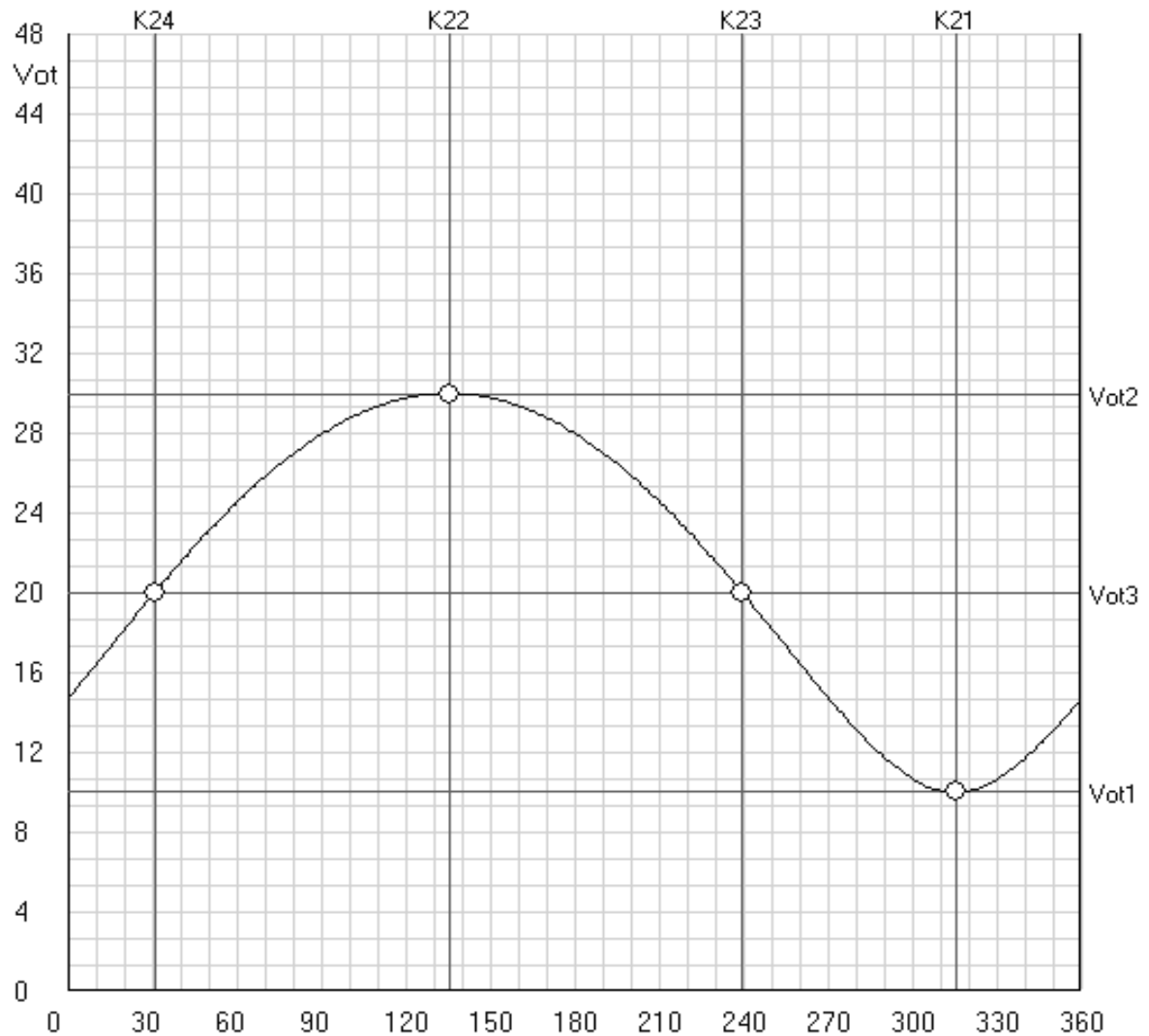


Рис. 2.5. Залежність відносної швидкості V_{ot} від курсу судна c_2

Відносна швидкість V_{ot} приймає значення $V_{ot3} = V_2$ при значенні курсу K_2 , яке знаходиться з рівності:

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

$$V_1^2 - 2V_1V_2\cos(K_1 - K_2) = 0,$$

звідки

$$\cos(K_1 - K_2) = \frac{V_1^2}{2V_1V_2} = \frac{\rho}{2}.$$

$$\text{Отже, } K_{23} = K_1 - \arccos \frac{\rho}{2} \text{ і } K_{24} = K_1 + \arccos \frac{\rho}{2}.$$

У разі повороту судна c_1 при незмінному курсі K_2 судна c_2 , як випливає з (1.3), вираз $V_1 - V_2 \cos(K_2 - K_1)$ і перша похідна $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ може мати як позитивне, так і негативне значення, а область значень K_{ot} обмежується екстремальними значеннями, які позначені K_{otmin} і K_{otmax} (рис. 3.6).

Як випливає з рис. 3.6, при зростанні курсу K_1 , залежно від його поточного значення відносний курс K_{ot} може, як збільшуватися, так і зменшуватися.

Так, при зростанні курсу K_1 від значення K_{1min} до значення K_{1max} через значення $K_2 + 180$ відносний курс K_{ot} також збільшується від величини K_{otmin} до значення K_{otmax} . Таким чином, $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1} > 0$ при $K_1 \in [K_{1min}, K_{1max}]$.

При подальшому збільшенні курсу K_1 від K_{1max} до K_{1min} через значення K_2 відносний курс K_{ot} зменшується, тобто $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1} < 0$ при $K_1 \in [K_{1max}, K_{1min}]$.

Екстремальним значенням відносних курсів K_{otmin} і K_{otmax} відповідають курси судна K_{1min} і K_{1max} , які знаходяться з умови рівності

першої похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ нулю, тобто з урахуванням (3.3) з наступного рівняння:

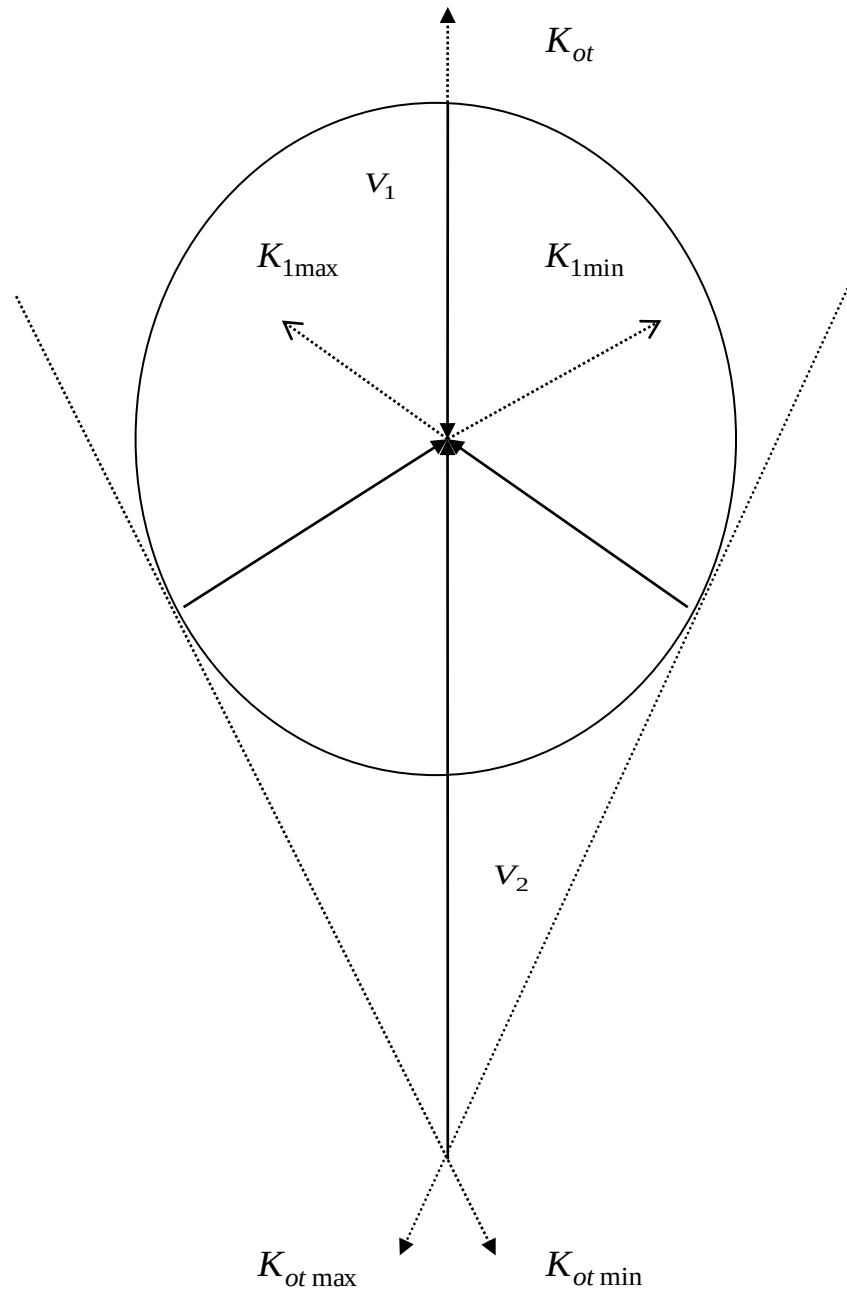


Рис. 2.6. Зміна відносного курсу K_{ot} залежно від курсу K_1

$$V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2) = 0 \quad \text{або} \quad \cos(K_1 - K_2) = \frac{V_1}{V_2} = \rho.$$

Дане рівняння має два рішення:

$$K_{11} = K_2 + \arccos \rho, \quad K_{12} = K_2 - \arccos \rho. \quad (2.4)$$

Визначимо відповідність одержаних значень курсів судна c_1 екстремальним відносним курсам K_{otmin} і K_{otmax} . Ця невизначеність зникає

при перевірці знаків екстремумів другої похідної $\frac{\partial^2 K_{ot}}{\partial K_1^2}$.

Знаходимо вираз для другої похідної $\frac{\partial^2 K_{ot}}{\partial K_1^2}$, використовуючи раніше

одержані залежності і формулу (3.2):

$$\frac{\partial^2 K_{ot}}{\partial K_1^2} = \frac{\partial}{\partial K_1} \left\{ \frac{V_1 [V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_{ot}^2} \right\} = \frac{V_1 V_2 (V_2^2 - V_1^2)}{V_{ot}^4} \sin(K_1 - K_2).$$

Підставляючи в останній вираз формули для K_{11} і K_{12} з (2.4), одержимо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 K_{ot}}{\partial K_1^2} &= \frac{V_1 V_2 (V_2^2 - V_1^2)}{V_{ot}^4} \sin(K_2 + \arccos \varphi - K_2) = \\ &= \frac{V_1 V_2 (V_2^2 - V_1^2)}{V_{ot}^4} \sin(\arccos \varphi) > 0, \text{ при } K_1 = K_{11}; \\ \frac{\partial^2 K_{ot}}{\partial K_1^2} &= \frac{V_1 V_2 (V_2^2 - V_1^2)}{V_{ot}^4} \sin(K_2 - \arccos \varphi - K_2) = \\ &= \frac{V_1 V_2 (V_2^2 - V_1^2)}{V_{ot}^4} \sin(-\arccos \varphi) < 0, \text{ при } K_1 = K_{12}. \end{aligned}$$

Як випливає з приведених виразів, мінімальне значення відносного курсу досягається при $K_1 = K_{11}$, оскільки в цьому випадку друга похідна позитивна, а максимальне значення - при $K_1 = K_{12}$, коли друга похідна від'ємна. Тому справедливі вирази:

$$K_{1\min} = K_2 + \arccos \rho \quad \text{та} \quad K_{1\max} = K_2 - \arccos \rho.$$

Знайдемо вирази для екстремальних значень відносного курсу K_{otmin} і K_{otmax} , користуючись залежністю (3.1):

$$\text{tg} K_{\text{ot}} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2}. \quad (2.5)$$

Підставляючи в (3.5) вираз для $K_{1\min}$, одержимо вираз для K_{otmin} :

$$\text{tg} K_{\text{otmin}} = \frac{V_1 \sin(K_2 + \arccos \rho) - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos(K_2 + \arccos \rho) - V_2 \cos K_2}. \quad (2.6)$$

Враховуючи, що $\rho = \frac{V_1}{V_2}$, перетворимо чисельник останнього виразу:

$$V_1 \left[\frac{V_1}{V_2} \sin K_2 + \frac{(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}{V_2} \cos K_2 \right] - V_2 \sin K_2 =$$

$$V_2^{-1} [V_1 (V_2^2 - V_1^2)^{1/2} \cos K_2 - (V_2^2 - V_1^2) \sin K_2] = (V_2^2 - V_1^2)^{1/2} \sin(\psi - K_2),$$

де $\psi = \arcsin \rho$ - початкова фаза.

Аналогічно перетворимо знаменник виразу (2.6):

$$\begin{aligned}
 V_1 \cos(K_2 + \arccos \rho) - V_2 \cos K_2 &= V_1 \left[\frac{V_1}{V_2} \cos K_2 - \frac{(V_2^2 - V_1^2)^2}{V_2} \sin K_2 \right] - V_2 \cos K_2 \\
 &= \\
 &= (V_2^2 - V_1^2)^{1/2} \cos(\psi - K_2).
 \end{aligned}$$

Підставимо одержані вирази для чисельника і знаменника в (2.6), знаходимо:

$$\operatorname{tg} K_{\text{otmin}} = - \frac{(V_2^2 - V_1^2)^{1/2} \sin(\psi - K_2)}{(V_2^2 - V_1^2)^{1/2} \cos(\psi - K_2)},$$

звідки остаточно одержимо:

$$\operatorname{tg} K_{\text{otmin}} = -\operatorname{tg}(\psi - K_2).$$

Дане рівняння має два значення:

$$K_{\text{otmin1}} = K_2 - \psi \quad \text{та} \quad K_{\text{otmin2}} = \pi + K_2 - \psi.$$

Якщо врахувати, що у відносному переміщенні вибрано нерухомим судно, чому відповідає, то остаточно одержимо:

$$K_{\text{otmin}} = \pi + K_2 - \arcsin \rho.$$

Аналогічно знаходимо вираз для K_{otmax} , який має наступний вигляд:

$$K_{\text{otmax}} = \pi + K_2 + \arcsin \rho.$$

Отже, значення екстремальних відносних курсів для випадку, коли змінює курс судно c_1 , швидкість якого має менше значення, визначаються наступними виразами:

$$K_{\text{otmin}} = \pi + K_2 - \arcsin \rho \quad \text{і} \quad K_{\text{otmax}} = \pi + K_2 + \arcsin \rho. \quad (2.7)$$

Таким чином, при зміні курсу K_1 судна c_1 в діапазоні від 0 до 2π відносний курс K_{ot} прийматиме значення з діапазону $[K_{otmin}, K_{otmax}]$, як показано на рис. 2.7.

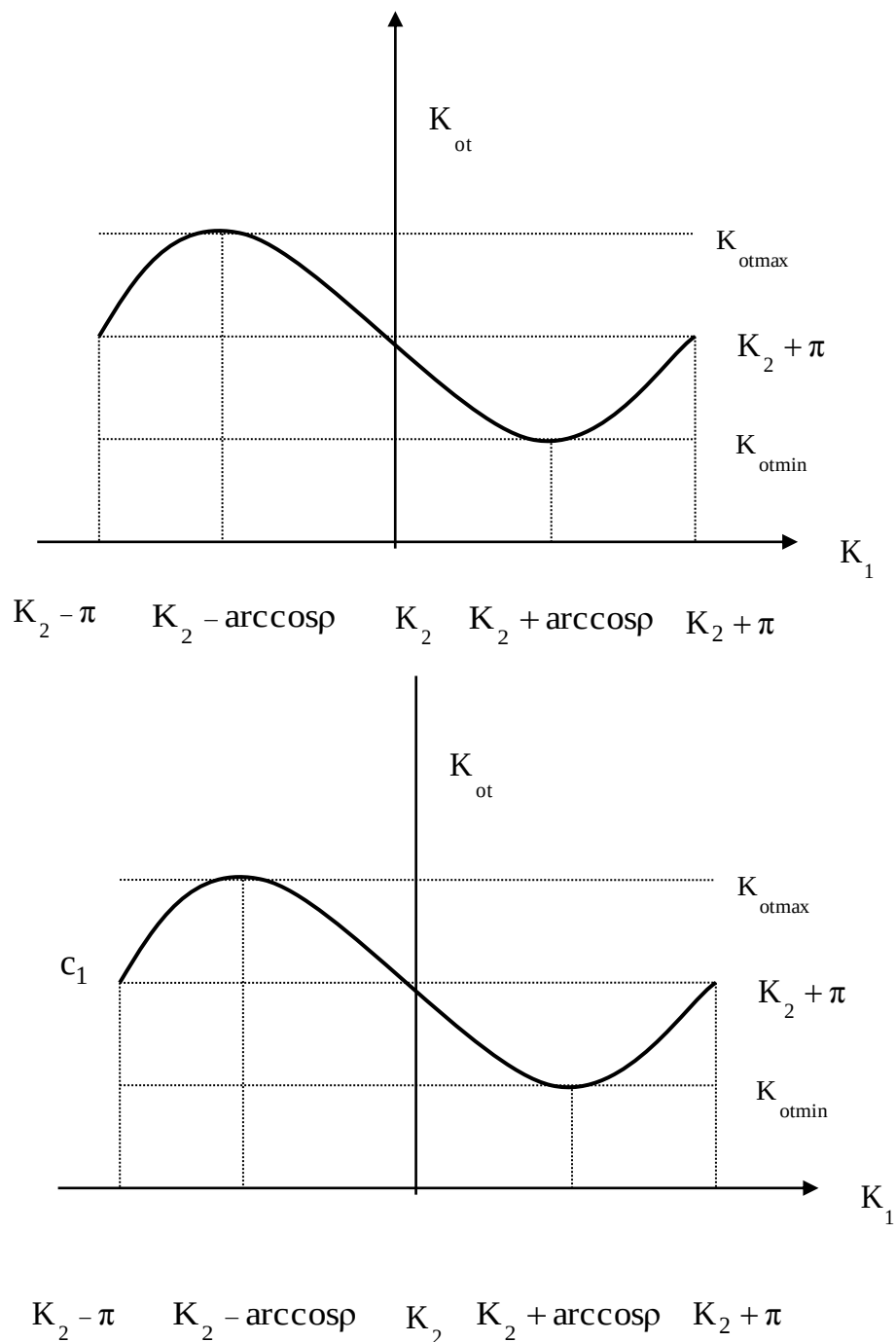


Рис.2.7. Залежність відносного курсу K_{ot} від курсу судна

На рис. 2.8 показана залежність відносного курсу K_{ot} від курсу K_1 судна c_1 , при цьому прийняті наступні параметри руху $V_1=10$ вузлів, $V_2=20$ вузлів і $K_2=0^\circ$.

На приведеному рисунку прийняті наступні позначення курсу K_1 судна c_1 і відносного курсу K_{ot} :

$$K_{21} = K_2 - \pi, K_{22} = K_2, K_{23} = K_2 - \arccos \rho, K_{24} = K_2 + \arccos \rho,$$

$$K_{ot1} = K_2 + \pi, K_{ot2} = K_2 + \pi, K_{ot3} = \pi + K_2 + \arcsin \rho,$$

$$K_{ot4} = \pi + K_2 - \arcsin \rho.$$

Залежність відносної швидкості V_{ot} від курсу K_1 при тих же параметрах руху показана на мал. 2.9. При цьому:

$$K_{21} = K_2, K_{22} = K_2 + \pi, K_{23} = K_1 - \arccos \frac{\rho}{2}, K_{24} = K_1 + \arccos \frac{\rho}{2}$$

$$V_{ot1} = V_2 - V_1, V_{ot2} = V_2 + V_1 \text{ і } V_{ot3} = V_2.$$

Розглянемо наступний випадок у разі, коли швидкості суден рівні, тобто $V_2 = V_1$, то незалежно від того, яке з суден c_1 або c_2 змінює курс, залежність відносного курсу K_{ot} від істинного курсу K_0 судна, яке маневрує, причому через K_c позначений курс судна, що зберігає параметри руху, можна охарактеризувати таким чином.

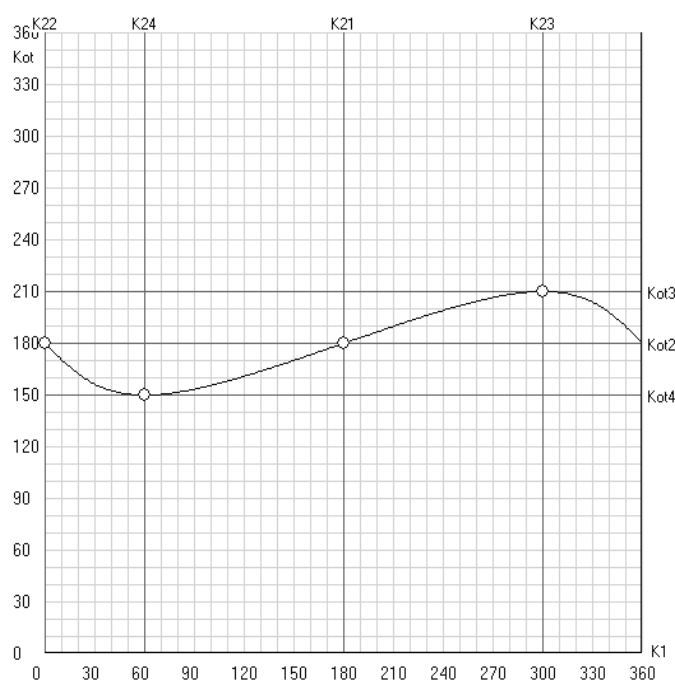


Рис. 2.8. Залежність відносного курсу K_{ot} від курсу судна K_1

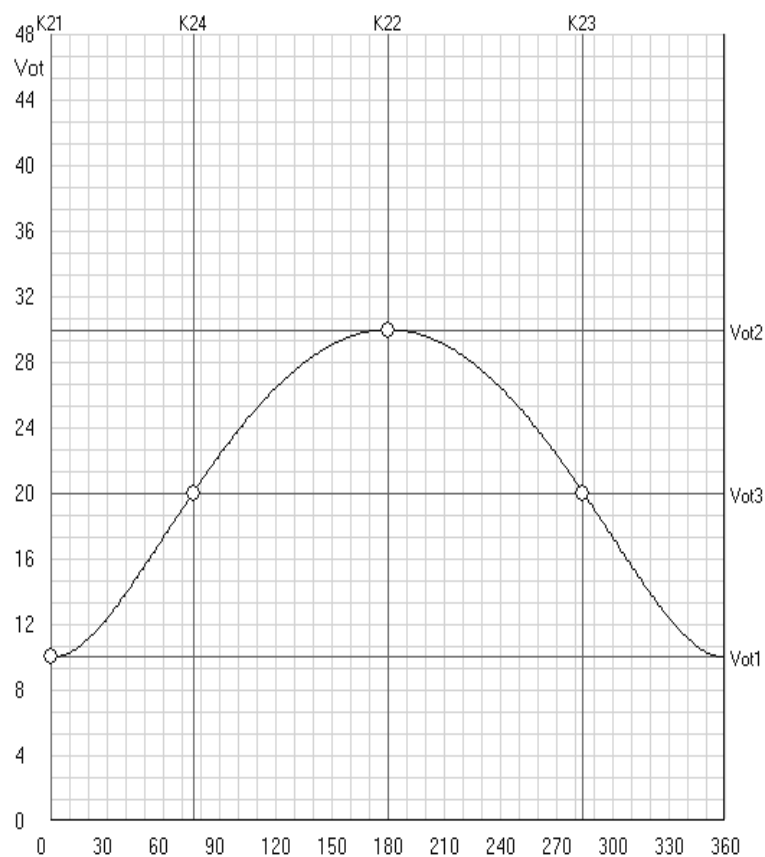


Рис. 2.9. Залежність відносного курсу V_{ot} від курсу судна K_1

Зміна курсу судна K_o від 0 до 2π , як показано на рис. 2.10, відносний курс приймає значення $K_{ot} \in [K_c + \pi/2, K_c + 3\pi/2]$, причому при $K_o = K_c$ відносний курс K_{ot} стрибкоподібно змінюється на 180° .

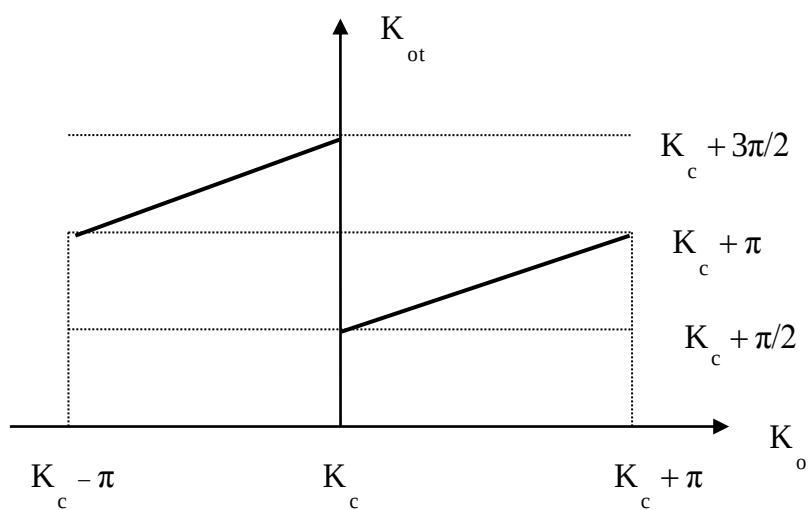


Рис. 2.10. Залежність відносного курсу K_{ot} від курсу судна K_o при $\rho = 1$

На рис. 2.11 показана залежність відносної швидкості V_{ot} від курсу судна K_o при $p=1$, причому прийняті наступні значення параметрів руху $V_1 = 20$ вузлів, $V_2 = 20$ вузлів і $K_2 = 180^\circ$.

Знайдемо аналітичний вираз залежності істинних курсів суден c_1 і c_2 від відносного курсу K_{ot} . Для цього використовуємо вираз (2.5):

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \frac{V_o \sin K_o - V_c \sin K_c}{V_o \cos K_o - V_c \cos K_c},$$

де V_o і K_o - параметри рухомого у відносному переміщенні судна;

V_c і K_c - параметри нерухомого у відносному переміщенні судна.

З останнього виразу одержимо:

$$\operatorname{tg} K_{ot} (V_o \cos K_o - V_c \cos K_c) = V_o \sin K_o - V_c \sin K_c,$$

звідки

$$V_o \cos K_o \operatorname{tg} K_{ot} - V_c \cos K_c \operatorname{tg} K_{ot} = V_o \sin K_o - V_c \sin K_c,$$

$$V_o \cos K_o \operatorname{tg} K_{ot} - V_o \sin K_o = V_c \cos K_c \operatorname{tg} K_{ot} - V_c \sin K_c,$$

або

$$V_o (\cos K_o \operatorname{tg} K_{ot} - \sin K_o) = V_c (\cos K_c \operatorname{tg} K_{ot} - \sin K_c).$$

Якщо перемножити обидві частини останнього рівняння на -1 , одержимо:

$$V_o (\sin K_o - \cos K_o \operatorname{tg} K_{ot}) = V_c (\sin K_c - \cos K_c \operatorname{tg} K_{ot}).$$

Перепишемо останній вираз у вигляді:

$$\sin K_o - \cos K_o \operatorname{tg} K_{ot} = \rho^{-1} (\sin K_c - \cos K_c \operatorname{tg} K_{ot}),$$

$$\text{де } \rho = \frac{V_o}{V_c}.$$

Перемножимо останню рівність на $\cos K_{ot}$ і одержимо:

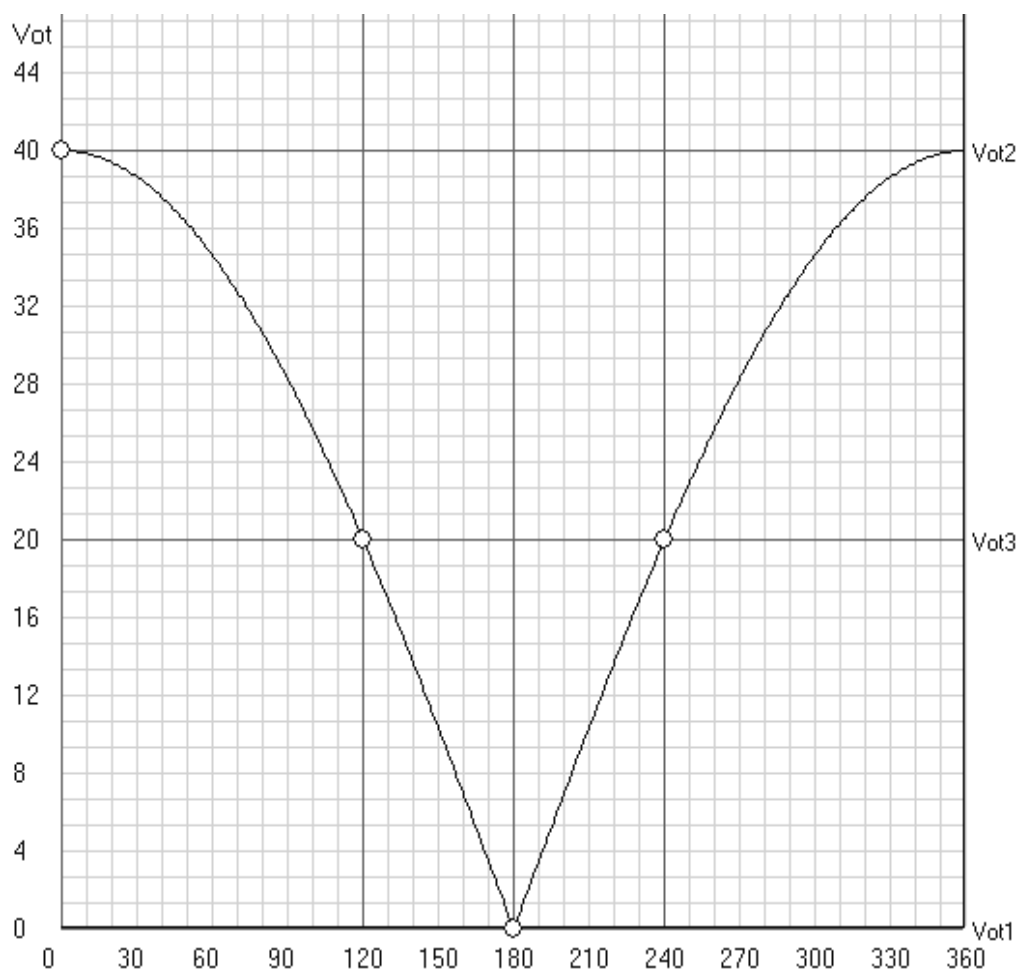


Рис. 2.11. Залежність відносного курсу V_{ot} від курсу судна K_o при $\rho = 1$

$$\sin K_o \cos K_{ot} - \cos K_o \sin K_{ot} = \rho^{-1} (\sin K_c \cos K_{ot} - \cos K_c \sin K_{ot}),$$

або з урахуванням елементарних залежностей знаходимо:

$$\sin(K_o - K_{ot}) = \rho^{-1} \sin(K_c - K_{ot}).$$

Дане рівняння має два рішення:

$$K_{o1} = K_{ot} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{ot})], \quad (2.8)$$

$$K_{o2} = K_{ot} + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{ot})]. \quad (2.9)$$

З аналізу рис. 2.6 видно, що одне з одержаних рішень має місце при $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} > 0$, а друге – в іншому випадку. Тому слід встановити відповідність

між значеннями знаку виразу $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o}$ і одержаними рішеннями K_{o1} і K_{o2} . Для

цього необхідно визначити знаки похідних $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}}$ і $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}}$.

Знайдемо вираз для похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}}$, для чого рівняння (2.8) диференціюємо по змінній K_{o1} :

$$1 = \frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}} + \frac{\rho^{-1} \cos(K_c - K_{ot})}{\sqrt{1 - \rho^{-2} \sin^2(K_c - K_{ot})}} \frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}}, \text{ або}$$

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}} = \left[1 + \frac{\rho^{-1} \cos(K_c - K_{ot})}{\sqrt{1 - \rho^{-2} \sin^2(K_c - K_{ot})}} \right]^{-1} = (1 + q)^{-1},$$

$$\text{де } q = \frac{\rho^{-1} \cos(K_c - K_{ot})}{\sqrt{1 - \rho^{-2} \sin^2(K_c - K_{ot})}}.$$

$$\text{Таким чином, } \frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}} = (1 + q)^{-1}.$$

Аналіз виразу для q показує, що при $\rho > 1$ модуль значення q не перевершує 1 незалежно від значень решти змінних. Отже, незалежно від знаку q справедлива рівність $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o1}} > 0$.

Знайдемо вираз для похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}}$, для цього рівняння (2.9) диференціюємо по K_{o2} :

$$1 = \frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}} - \frac{\rho^{-1} \cos(K_c - K_{ot})}{\sqrt{1 - \rho^{-2} \sin^2(K_c - K_{ot})}} \frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}}, \text{ або}$$

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}} = \left[1 - \frac{\rho^{-1} \cos(K_c - K_{ot})}{\sqrt{1 - \rho^{-2} \sin^2(K_c - K_{ot})}} \right]^{-1} = (1 - q)^{-1}, \text{ тому}$$

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}} = (1 - q)^{-1}. \quad (2.10)$$

У випадку $\rho < 1$ курси судна, знаходяться в інтервалі від $K_c - \arccos \rho$ до $K_c + \arccos \rho$, при яких $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} < 0$, називатимемо попутними, а інші, для яких $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_o} > 0$, - зустрічними.

Як показує аналіз виразу (2.10), похідна $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_{o2}} < 0$ у випадку $\rho < 1$ і при плаванні судна попутними курсами. Звертаємо увагу, що при попутних курсах відносне ухилення Δ від'ємне, тобто при збільшенні курсу судна відносних курс зменшується і навпаки. Зустрічні курси характеризуються позитивним значенням Δ .

Таким чином, для судна з більшою швидкістю c_2 має місце $\rho > 1$ і існує однозначне відображення множини відносних курсів в множину істинних курсів судна c_2 , оскільки знак першої похідної $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_2} > 0$ для всіх значень курсу судна, причому залежність має наступний вигляд:

$$K_2 = K_{ot} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_1 - K_{ot})].$$

У разі судна з меншою швидкістю c_1 значення $\rho < 1$ (рис. 2.12) і відображення множини відносних курсів у множину істинних курсів судна c_1 не є однозначним, оскільки перша похідна $\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1}$ може мати як позитивний, так і від'ємний знаки, тобто кожному відносному курсу, окрім екстремальних, відповідає два значення K_{11} і K_{12} істинного курсу судна c_1 . Причому справедливе співвідношення:

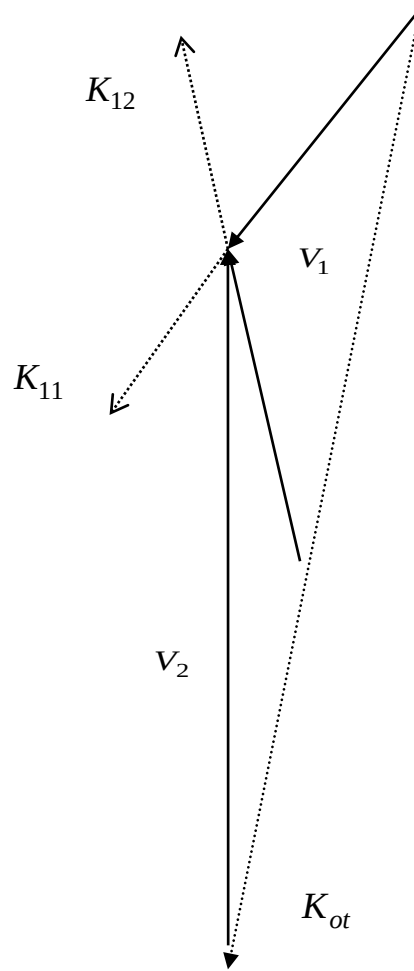


Рис. 2.12. Відповідність між відносним K_{ot} і істинним курсами K_1

$$K_{11} = K_{ot} + \arcsin[p^{-1}\sin(K_2 - K_{ot})], \text{ при } \Delta > 0,$$

$$K_{12} = K_{ot} + \pi - \arcsin[p^{-1}\sin(K_2 - K_{ot})], \text{ при } \Delta < 0.$$

У разі, коли швидкості суден рівні, тобто $\rho = 1$, одержимо:

$$K_o = 2K_{ot} + \pi - K_c.$$

Розглянемо елементарну групу суден S_{12} з позицій безпечного руху для попередження зіткнення. Відзначимо, що зіткнення відбувається у тому разі,

коли дистанція між рухомими суднами зіставна з їх габаритами. На судні здійснюється поточний контроль і прогноз значення дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ (рис. 2.13) і зіставляється з гранично-допустимою дистанцією, яка забезпечує безпечне розходження.

Як видно з рисунка:

$$D_{\min} = \Delta_n D \sin(K_{ot} - \alpha), \quad (2.11)$$

де Δ_n - співмножник, що забезпечує позитивне значення $D_{\min}$.

Момент часу досягнення значення $D_{\min}$, - час найкоротшого зближення $T_{\min}$, визначається виразом:

$$T_{\min} = \frac{D \cos(K_{ot} - \alpha)}{V_{ot}}.$$

Знайдемо поточні значення дистанції $D_{\min t}$ і часу $T_{\min t}$ найкоротшого зближення в довільний момент часу, при умові, що параметри руху суден є незмінними, тобто K_{ot} і V_{ot} постійні.

Зі зміною часу міняються поточні значення пеленга α_t і дистанції D_t . З рис. 2.13 виходить:

$$D_t = \sqrt{V_{ot}^2 t^2 + D^2 - 2DV_{ot} t \cos(K_{ot} - \alpha)}, \quad (2.12)$$

$$\alpha_t = K_{ot} + \arcsin \frac{D_{\min}}{D_t},$$

а також

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

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

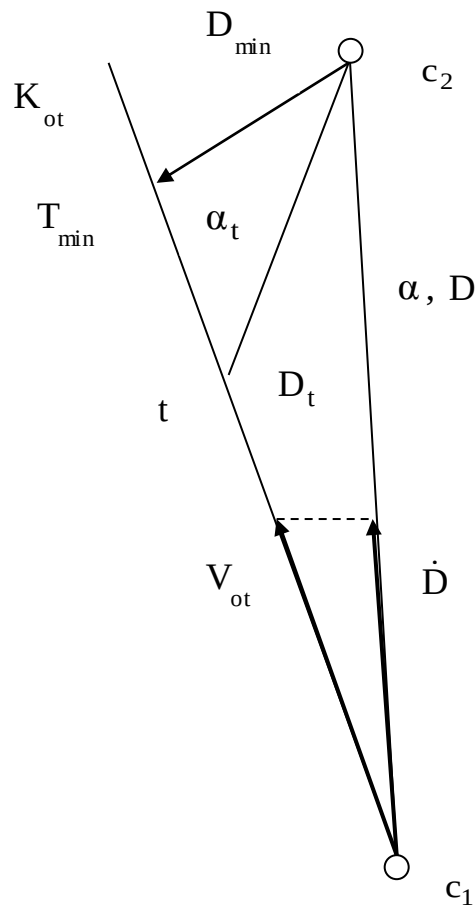


Рис. 2.13. До визначення величин $\dot{D}$ і D_{min}

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

У свою чергу, $T_{mint} = \frac{D_t \cos(K_{ot} - \alpha_t)}{V_{ot}}$ або, підставляючи другий вираз

для α_t , одержимо:

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

Таким чином, при $t < T_{\min}$ і незмінних параметрах руху обох суден дистанція найкоротшого зближення залишається постійною, а час найкоротшого зближення зменшується, обертаючись в 0, якщо $t = T_{\min}$.

З погляду безпеки розходження множину станів системи S_{12} можна розділяти на підмножини по різних ознаках. Першою ознакою можливого зіткнення суден є їх зближення. Тому множина станів системи S_{12} можна розділити на підмножину суден, які зближуються, і підмножину суден, що віддаляються. Параметром даної ознаки є швидкість зміни відстані між суднами $\dot{D}$.

Враховуючи, що у відносному русі нерухомим є судно c_2 , то за допомогою рис. 3.13 одержимо:

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

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

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

$$\dot{D} = -V_{ot} [\cos K_{ot} \cos \alpha + \sin K_{ot} \sin \alpha]. \quad (2.13)$$

Враховуючи вираз (3.5), можна записати:

$$\sin K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{\sqrt{(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2)^2 + (V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2)^2}} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_{ot}},$$

$$\cos K_{ot} = \frac{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2}{V_{ot}}.$$

З урахуванням цього вираз (2.13) приймає вигляд:

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

Розкриємо дужки і групуємо:

$$\dot{D} = -[V_1(\cos K_1 \cos \alpha + \sin K_1 \sin \alpha) - V_2(\cos K_2 \cos \alpha + \sin K_2 \sin \alpha)],$$

або

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

Остаточно вираз для визначення зміни дистанції $\dot{D}$ має вигляд:

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

Розділення на підмножини суден, що зближуються і віддаляються, проводиться по межі пар курсів (K_1, K_2) , при яких $\dot{D} = 0$, чому відповідає рівняння:

$$V_2 \cos(K_2 - \alpha) - V_1 \cos(K_1 - \alpha) = 0,$$

або

$$V_2 \cos(K_2 - \alpha) = V_1 \cos(K_1 - \alpha).$$

З останнього співвідношення виходить:

$$\cos(K_2 - \alpha) = \frac{V_1}{V_2} \cos(K_1 - \alpha),$$

звідки

$$K_{21} = \alpha + \arccos\left[\frac{V_1}{V_2} \cos(K_1 - \alpha)\right], \quad (2.14)$$

$$K_{22} = \alpha - \arccos\left[\frac{V_1}{V_2} \cos(K_1 - \alpha)\right]. \quad (2.15)$$

Вирази (2.14) і (2.15) представляють межі між областями зближення і віддалення суден. Вони показані на рис. 2.14, причому область усередині меж

відповідає ситуації зближенню суден. Межі розраховані для параметрів $V_1 = 10$ вуз., $V_2 = 20$ вуз., $\alpha = 0^\circ$.

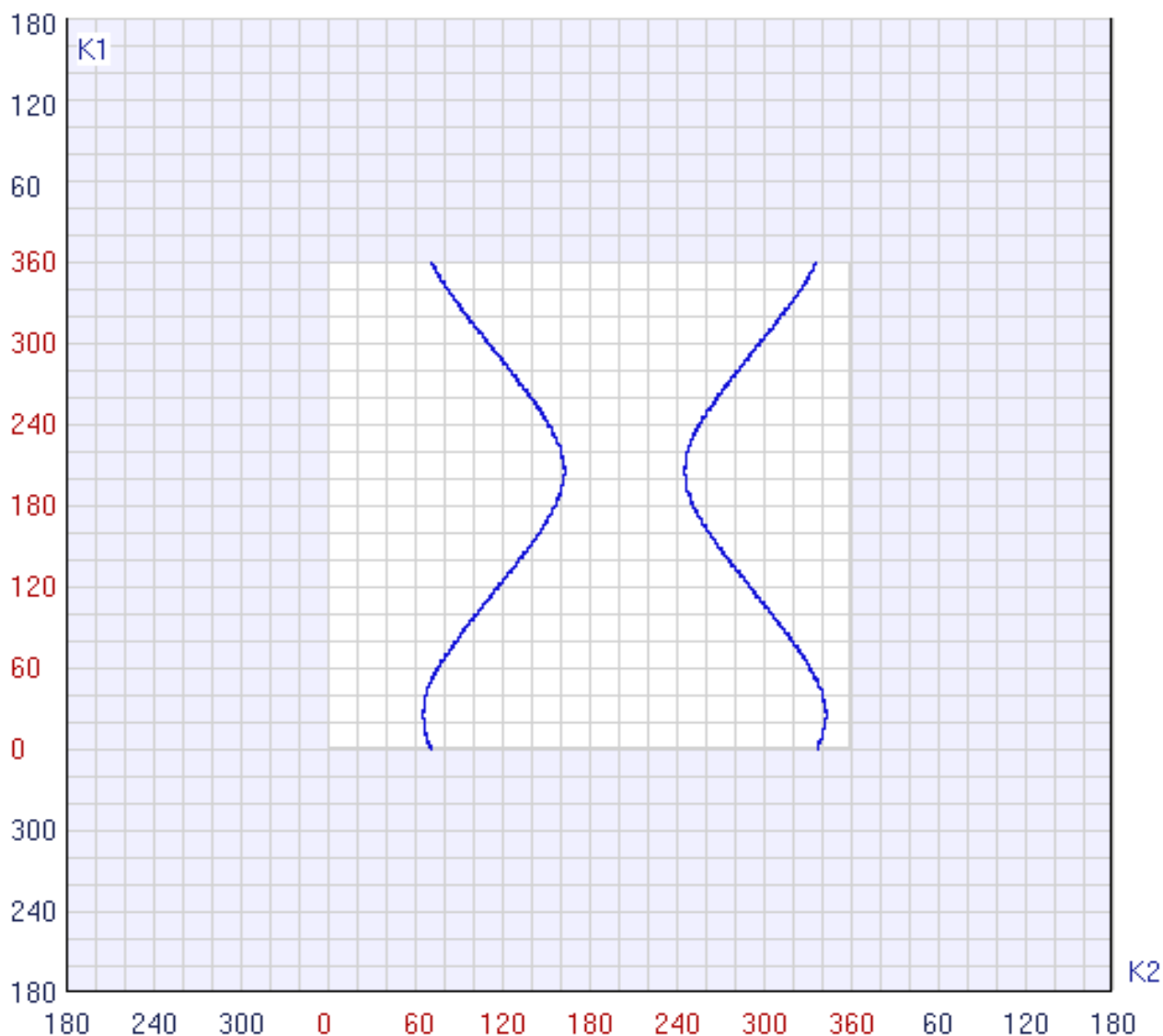


Рис. 2.14. Межі області зближення суден при $V_2 > V_1$

При зближенні суден ($\dot{D} < 0$) слід з'ясувати, чи існує небезпека зіткнення, тобто ситуативне збурення. Для цього необхідно порівняти прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ з гранично-допустимою дистанцією D_d , значення якої визначається формою і розмірами суднової безпечної області.

2.5. Висновки за другим розділом

Другий розділ дисертаційної роботи присвячений вибору теми дослідження і його основним напрямам. У розділі наведена технологічна карта роботи, в якій показана методологічна структура дисертації і наведено її методологічне забезпечення.

У технологічній карті вказана мета дисертаційного дослідження і представлене його головне завдання, причому здійснена її декомпозиція на три незалежні складові завдання. Сформульована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження, показано, що під час рішення незалежних складових завдань отримані відповідні наукові результати дисертаційної роботи.

У другому розділі також показані значущість і практична цінність дисертаційного дослідження, а також сформульоване основне наукове положення роботи. Наведено коротку методику розв'язання допоміжних задач, поставлених у роботі, причому вона описує основні етапи виконання наукового дослідження за темою дисертації і є узагальненим алгоритмом виконання дисертаційного дослідження, який включає теоретичні розробки і проведення імітаційного комп'ютерного моделювання.

Також у другому розділі досліджується характеристика елементарної групи суден як платформа для подальшого вивчення процесу компенсації ситуативного збурення елементарної групи суден при зовнішньому типі управління.

РОЗДІЛ 3.

КОМПЕНСАЦІЯ СИТУАТИВНОГО ЗБУРЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНОЇ
ГРУПИ СУДЕН ПРИ ЗОВНІШНЬОМУ ТИПІ УПРАВЛІННЯ.

3.1. Використання області небезпечних курсів для вибору безпечного маневру розходження.

Розглянемо ситуацію, коли маневр розходження проводиться зміною курсу суден, а їх швидкості є незмінними. У цій ситуації $D_{\min}$ при постійних значеннях V_1 , V_2 , D та α залежить від курсів суден K_1 і K_2 , тобто $D_{\min}(K_1, K_2)$. Якщо має місце нерівність $D_{\min} \geq D_d$, то ситуативне збурення відсутнє, в противному разі воно має місце. Тому можна здійснити декомпозицію множини станів елементарної групи S_{12} на дві підмножини по ознаці безпечного зближення (наявність або відсутність ситуативного збурення ω). Причому рівнянням межі між підмножинами, як показано в роботі [130], є рівність $D_{\min}(K_1, K_2) = D_d$.

Підставляємо значення $D_{\min}$ (2.11):

$$\Delta_n D \sin(K_{ot} - \alpha) = D_d, \text{ звідки } K_{ot} - \alpha = \arcsin \frac{D_d}{\Delta_n D}.$$

З останнього рівняння можна записати:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \operatorname{tg} \left[\alpha + \arcsin \frac{D_d}{\Delta_n D} \right].$$

Позначимо $\gamma = \alpha + \arcsin \frac{D_d}{\Delta_n D}$ і одержимо $\operatorname{tg} K_{ot} = \operatorname{tg} \gamma$, або

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

Перетворимо останній вираз:

$$V_1(\sin K_1 - \operatorname{tg} \gamma \cos K_1) = V_2(\sin K_2 - \operatorname{tg} \gamma \cos K_2).$$

Помножимо обидві частини рівняння на величину $\frac{\cos \gamma}{V_1}$ і одержимо:

$$(\sin K_1 \cos \gamma - \cos K_1 \sin \gamma) = \rho(\sin K_2 \cos \gamma - \cos K_2 \sin \gamma),$$

$$\text{де } \rho = \frac{V_2}{V_1}.$$

Дане рівняння аналітично описує межі небезпечної області, яка містить неприпустимі поєднання значень пар відповідних курсів K_1 і K_2 . Виразами в круглих дужках лівої і правої частини рівняння є синусами різниці двох аргументів, тобто:

$$\sin(K_1 - \gamma) = \rho[\sin(K_2 - \gamma)].$$

Дане рівняння має два рішення, причому ситуації зближення суден на зустрічних курсах відповідає:

$$K_1 - \gamma = \arcsin\{\rho[\sin(K_2 - \gamma)]\},$$

або

$$K_1 = \gamma + \arcsin\{\rho[\sin(K_2 - \gamma)]\}. \quad (3.1)$$

Так розглядаємо випадок, коли $V_2 > V_1$, тобто $\rho > 1$, то у виразі (3.1) повинна дотримуватися умова $\rho[\sin(K_2 - \gamma)] \leq 1$, або $\sin(K_2 - \gamma) \leq \rho^{-1}$. Отже, граничні значення курсу K_2 рівні:

$$K_{21} = \gamma + \arcsin(\rho^{-1});$$

$$K_{22} = \gamma + \pi - \arcsin(\rho^{-1});$$

$$K_{23} = \gamma + \pi + \arcsin(\rho^{-1});$$

$$K_{24} = \gamma + 2\pi - \arcsin(\rho^{-1}),$$

а область значень змінної K_2 визначається виразом:

$$K_2 \in \{S_1 \cup S_2\}.$$

У останньому виразі області S_1 і S_2 можливих значень курсу K_2 аналітично визначаються таким чином:

$$S_1 = [\gamma + 2\pi - \arcsin(\rho^{-1}), \gamma + \arcsin(\rho^{-1})],$$

$$S_2 = [\gamma + \pi - \arcsin(\rho^{-1}), \gamma + \pi + \arcsin(\rho^{-1})].$$

Межі небезпечної області курсів S_{Dij} для параметрів ситуації зближення $V_1 = 10$ уз., $V_2 = 20$ уз., $D = 3$ милі, $\alpha = 0^\circ$ і $D_d = 1$ миля показані на рис. 3.1. Звертаємо увагу на ту обставину, що небезпечна область курсів належить області зближення суден.

У випадку $V_1 = V_2$ одержуємо:

$$K_1 - \gamma = \arcsin\{\sin(K_2 - \gamma)\} \text{ і}$$

$$K_1 - \gamma = \pi - \arcsin\{\sin(K_2 - \gamma)\},$$

або

$$K_1 - \gamma = K_2 - \gamma \text{ і}$$

$$K_1 - \gamma = \pi - K_2 + \gamma,$$

тобто

$$K_1 = K_2 \text{ і}$$

$$K_1 = \pi + 2\gamma - K_2.$$

Залежність $K_1 = \pi + 2\gamma - K_2$ відповідає зближенню на зустрічних курсах. Очевидно, у разі $V_2 = V_1$ (рис. 3.1) межі області небезпечних курсів S_{Dij} є відрізками прямих ліній, які паралелі межам області зближення суден. На рис. 3.1 показана область небезпечних курсів S_{Dij} при $V_2 = V_1$ і $D = 3$.

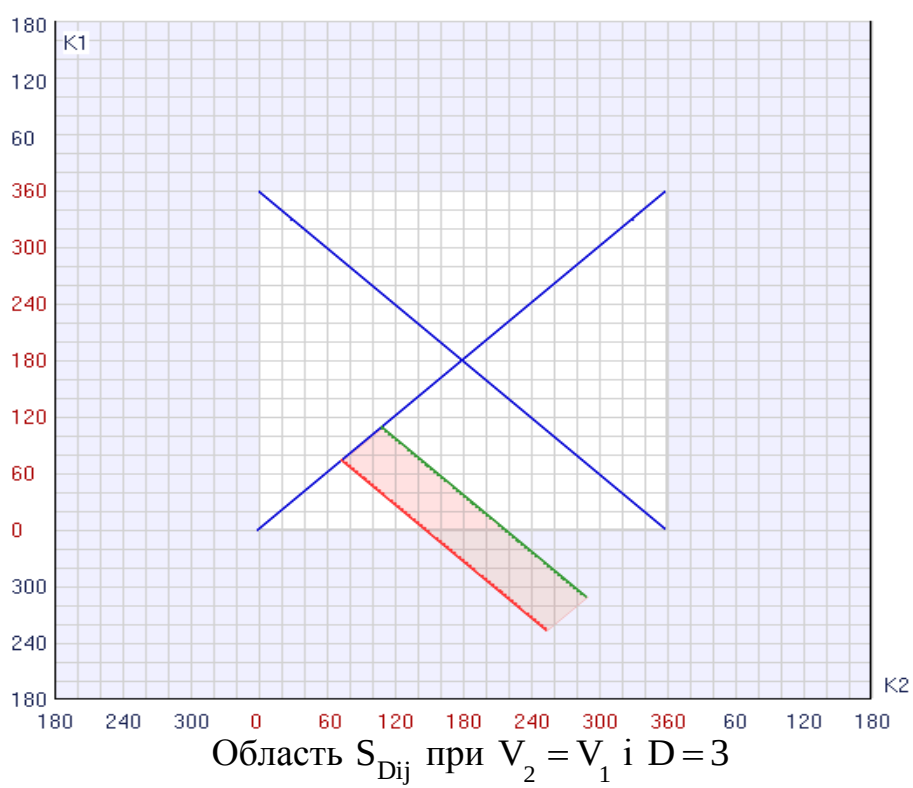
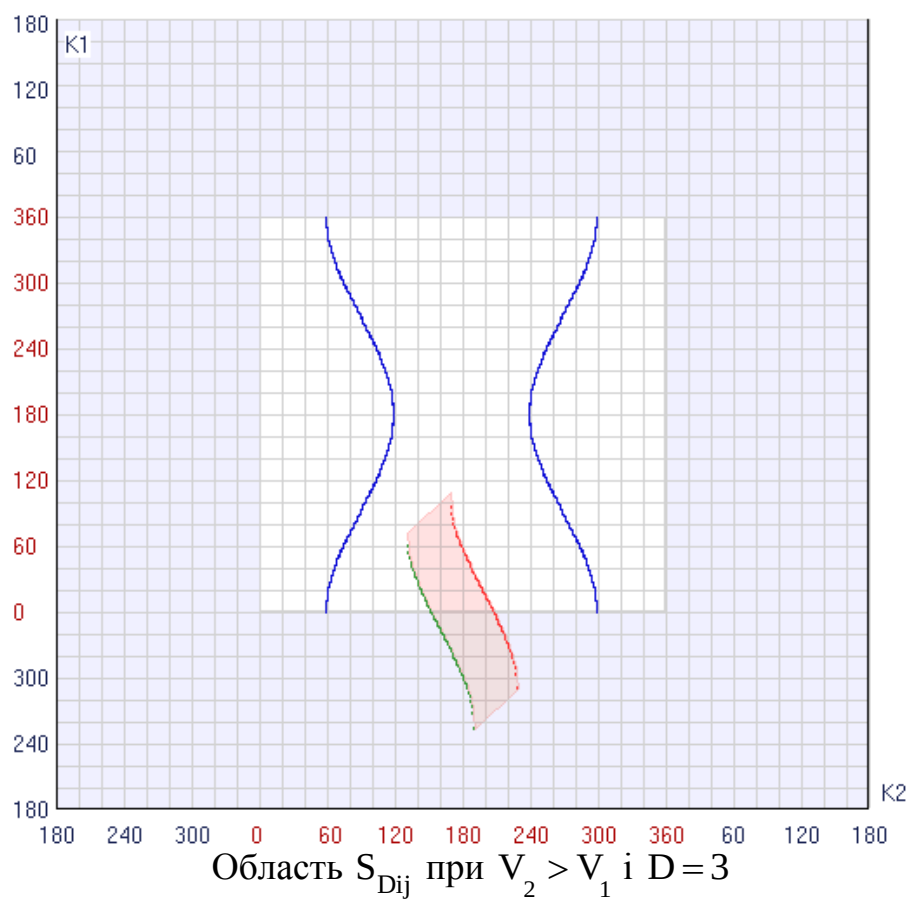


Рис. 3.1.

Якщо позиція, відповідна початковим курсам суден (K_{1n}, K_{2n}), належить області S_{Dij} , то система S_{12} елементарної групи суден знаходиться в підмножині станів небезпечного зближення (ситуативного збурення).

У роботі [51] показано, що кожне із суден характеризується двовимірною областю неприпустимих позицій, яка називається судновою безпечною областю, в якій небажане перебування яких-небудь сторонніх об'єктів. При розгляді відносного переміщення суден таким об'єктом є інше судно. Область неприпустимих позицій повинна бути сформована так, щоб її межа відповідала нульовій вірогідності зіткнення. А кожній позиції усередині цієї області відповідає деяка відмінна від нуля вірогідність виникнення зіткнення, причому зростання вірогідності зіткнення суден відбувається із скороченням найкоротшої дистанції між суднами.

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

Також характеристикою ситуативного збурення є час запасу t_{zi} і t_{zj} для кожного з пари суден системи S_{12} , значення якого полягає в наступному. Якщо за наявності ситуативного збурення дистанція між суднами перевершує значення D_d і судно може своїм маневром забезпечити максимальне значення дистанції найкоротшого зближення $\max D_{\min}$, для якого $\max D_{\min} > D_d$, то судно знаходиться в допустимій позиції. З часом дистанція між судами скорочується і настає момент часу t_{di} , коли

досягається рівність $\max D_{\min} = D_d$. При подальшому зближенні суден з програмними параметрами руху $\max D_{\min} < D_d$, і судно потрапляє в підмножину неприпустимих позицій, причому ніяким маневром зміни курсу воно не зможе розійтися з іншим судном в дистанції D_d . Тому час запасу t_{zi} рівний інтервалу часу від поточного моменту до моменту часу t_{di} попадання судна в підмножину неприпустимих позицій. Значення загального часу запасу t_{zij} для пари суден доцільно вибрати із співвідношення $t_{zij} = \min(t_{zi}, t_{zj})$.

Ситуативне збурення ω може приймати три значення:

$$\omega = \begin{cases} 0, & D_{\min} > D_d, \\ 1, & D_{\min} \leq D_d, t_{zij} > 0, \\ 2, & D_{\min} \leq D_d, t_{zij} \leq 0. \end{cases} \quad (3.2)$$

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

Враховуємо, що:

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

де α - пеленг на ціль.

Оскільки K_{extr} - екстремальний відносний курс рівний K_{otmin} або K_{otmax} , на якому дистанція найкоротшого зближення $D_{\min}$ максимальна, то, очевидно, справедливі наступні рівності:

$$\max D_{\min}^{(\text{mx})} = \Delta_n D \sin(K_{\text{otmax}} - \alpha) \quad \text{і} \quad \max D_{\min}^{(\text{mn})} = \Delta_n D \sin(K_{\text{otmin}} - \alpha).$$

При цьому:

$$K_{\text{otmin}} = \pi + K_2 - \arcsin \rho \quad \text{і} \quad K_{\text{otmax}} = \pi + K_2 + \arcsin \rho,$$

де $\rho = V_1 / V_2$ і $V_2 > V_1$.

Тому є дві межі:

$$D \sin(\pi + K_2 + \arcsin \rho - \alpha) = \Delta_n D_{\text{dop}},$$

$$D \sin(\pi + K_2 - \arcsin \rho - \alpha) = \Delta_n D_{\text{dop}},$$

які зручно записати у вигляді залежності D від курсу K_2 :

$$D_{\text{mx}} = (\Delta_n D_{\text{dop}}) / \sin(\pi + K_2 + \arcsin \rho - \alpha),$$

$$D_{\text{mn}} = (\Delta_n D_{\text{dop}}) / \sin(\pi + K_2 - \arcsin \rho - \alpha).$$

При цьому кожному курсу K_2 судна з більшою швидкістю відповідають курси:

$$K_{1\text{min}} = K_2 + \arccos \rho \quad \text{і} \quad K_{1\text{max}} = K_2 - \arccos \rho,$$

при яких досягаються екстремальні відносні курси K_{otmin} або K_{otmax} .

Дослідимо зміну величини $\max D_{\text{min}}$ залежно від курсу K_2 судна, яке має більшу швидкість. Очевидно, що $\max D_{\text{min}} = 0$, при $K_{\text{extr}} = \alpha$, або $\pi + K_2 \pm \arcsin \rho = \alpha$, звідки $K_2 = \alpha - \pi \mp \arcsin \rho$.

Знайдемо курси судна K_2 , при яких $\max D_{\text{min}}$ приймає найбільше значення. Очевидно, це відбувається при $\sin(K_{\text{extr}} - \alpha) = 1$, або $K_{\text{extr}} = \alpha + \frac{\pi}{2}$.

Підставляємо значення K_{extr} :

$$\pi + K_2 \pm \arcsin \rho = \alpha + \frac{\pi}{2},$$

або

$$K_2 = \alpha + \frac{\pi}{2} - \pi \mp \arcsin \rho = \alpha - \frac{\pi}{2} \mp \arcsin \rho.$$

Враховуючи, що $\frac{\pi}{2} - \arcsin \rho = \arccos \rho$, одержимо $K_2 = \alpha \mp \arccos \rho$.

На рис. 3.2 показані області позицій для $D=3$, $D_d=1$ і $\alpha=0$, в яких ситуативне збурення може прийняти значення 2. Верхня область на рисунку відповідає значенням K_2 і D , при яких D_{min} не можна збільшити,

збільшуючи відносний курс до K_{otmax} , а нижня область характеризує відсутність можливості збільшення D_{min} зменшенням відносного курсу до значення K_{otmin} .

На рис. 3.2 позначені такі курси:

$$K_{21} = \alpha + \arccos \rho, \quad K_{22} = \alpha + \pi + \arcsin \rho, \quad K_{23} = \alpha + \pi,$$

$$K_{24} = \alpha + \pi - \arcsin \rho, \quad K_{25} = \alpha - \arccos \rho.$$

За допомогою областей, показаних на рис. 3.2, можна визначити значення ситуативного збурення ω , маючи в своєму розпорядженні дистанцію між суднами D і курс судна з більшою швидкістю K_2 . Так для позиції 1, яка має координати $D=3$ милі і $K_2=90^\circ$, ситуативне збурення $\omega=1$, оскільки вона не належить обом областям. Позиція 2 ($D=3$ милі, $K_2=160^\circ$) належить до нижньої області і у разі відсутності можливості збільшення D_{min}

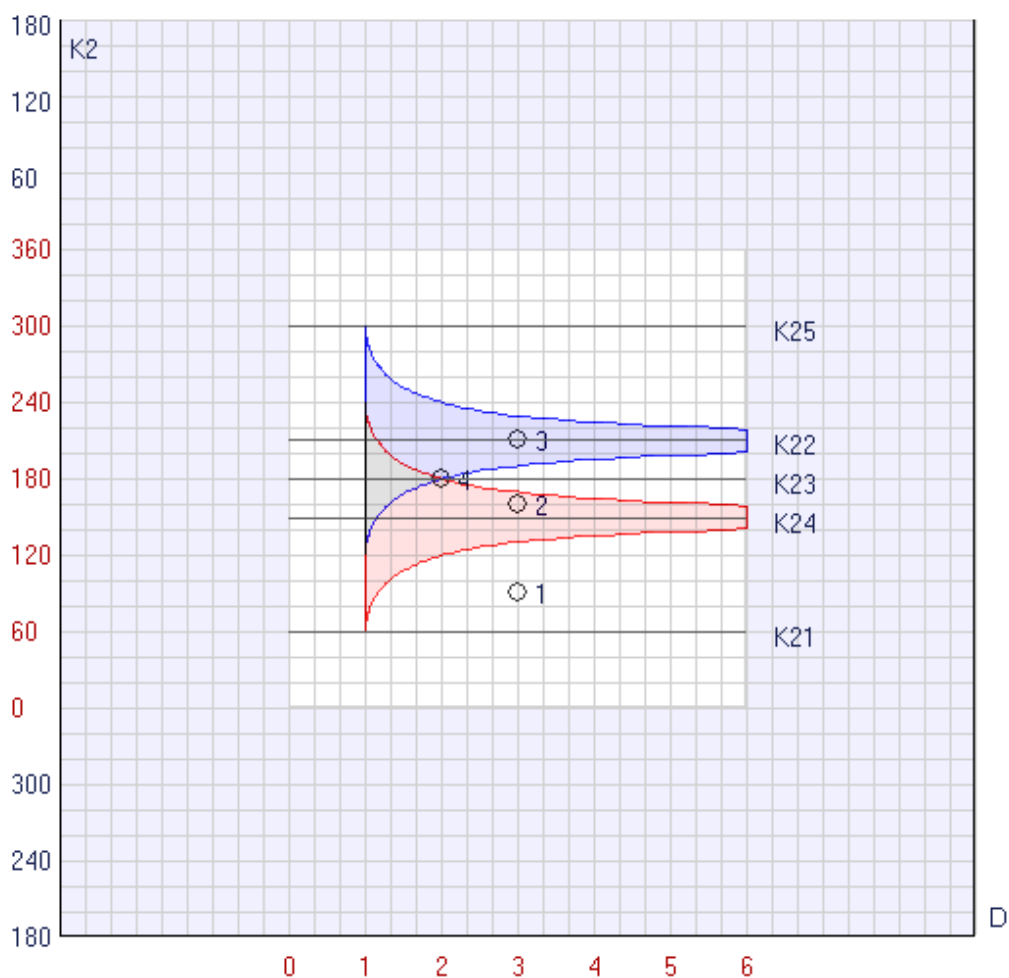


Рис. 3.2. Области позицій, в яких можливо $\omega=2$.

зміною відносного курсу до величини K_{otmax} ситуативне збурення $\omega=2$. Інакше, якщо можливе збільшення D_{min} збільшенням відносного курсу до K_{otmax} , $\omega=1$.

Верхня область містить позицію 3 ($D=3$ милі, $K_2=210^\circ$), при нагоді збільшення D_{min} зміною відносного курсу до величини K_{otmin} ситуативне збурення $\omega=1$, а інакше $\omega=2$. Якщо ситуація відповідає позиції 4 ($D=2$ милі, $K_2=180^\circ$), яка належить обом областям, то ситуативне збурення приймає тільки значення $\omega=2$.

3.2. Вибір безпечного маневру розходження в першому наближенні за допомогою області небезпечних швидкостей.

За ситуації, коли пари суден, що небезпечно зближуються, не можуть змінювати свої курси, наприклад через навігаційні небезпеки, попередження зіткнення можливе зміною їх швидкостей. В цьому випадку при зовнішньому управлінні рухом суден, тобто системою контролю і управління рухом суден VTS, множину станів системи пари суден доцільно представити областю небезпечних швидкостей [73], яка аналогічна розглянутій вище області небезпечних курсів, тільки кожній позиції (V_1, V_2) парних швидкостей суден відповідає дистанція найкоротшого зближення між суднами. Межа небезпечної області швидкостей, кожна крапка якої відповідає дистанції найкоротшого зближення D_{min} , рівної гранично-допустимій дистанції D_d , описується рівнянням:

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

де D і α - відповідно дистанція і пеленг; K_{ot} - відносний курс; $\Delta=-1$, при $\sin(\alpha - K_{ot}) < 0$, інакше $\Delta=1$.

З одержаного рівняння виходить:

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

звідки одержимо

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

Отже, можна записати:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \operatorname{tg}\left[\alpha - \arcsin\left(\frac{D_d}{\Delta D}\right)\right]. \quad (3.3)$$

Враховуючи, що

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

рівняння (3.3) приймає вигляд:

$$\frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2} = \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma}, \quad (3.4)$$

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

З рівняння (3.4) одержимо:

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

або

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

Останній вираз дозволяє записати рівняння для межі небезпечної області швидкостей, причому вираз для верхньої межі:

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

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

Нижня межа виражається таким чином:

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

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

Очевидно, при постійних значеннях курсів K_1, K_2 , і параметрів γ^*, γ_* межі небезпечної області швидкостей є лінійними. На рис. 3.3 показана область неприпустимих швидкостей для пари суден, що небезпечно зближуються, курси яких є незмінними. Як приклад вибрана ситуація небезпечного зближення суден з параметрами: $\alpha=90^\circ$, $D=3,0$ милі, $D_d=1,0$ милі, $K_1=45^\circ$, $K_2=315^\circ$, з початковими швидкостями $V_1=15$ вузлів і $V_2=15$ вузлів.

В цьому випадку $\gamma^*=70,5^\circ$ і $\gamma_*=109,5^\circ$, а вирази для верхньої $Gr^*(V_1, V_2)$ і нижньої $Gr_*(V_1, V_2)$ меж:

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

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

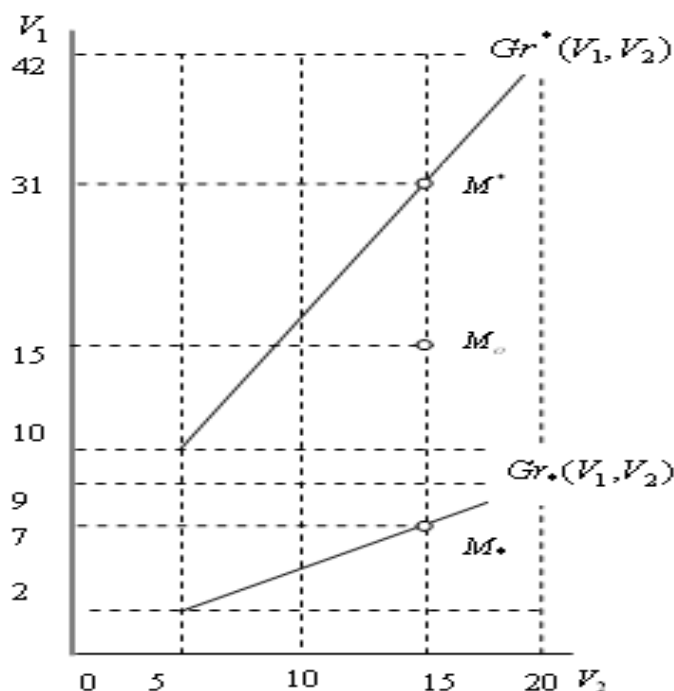


Рис. 3.3. Область неприпустимих швидкостей

Якщо зміна швидкості V_1 до вказаних меж можлива практично миттєво, то значення дистанції D і пеленга α не змінюються і судна розходяться на заданій гранично-допустимій дистанції. Проте через інерційність судна для зміни швидкості V_1 до необхідних значень потрібен інтервал часу [131]:

$$\tau = \frac{m}{2kV_{y1}} \ln \left| \frac{2V_{y1}^2 - 2V_1V_{y1} - 0,1(V_{y1} - V_1)}{0,1(V_{y1} + V_1)} \right|,$$

де m - маса судна з приєднаними масами; k - гідродинамічний коефіцієнт опору; V_{y1} - кінцева швидкість маневруючого судна (V_{1*} або V_1^*).

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

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

де t_{yn} - момент початку зміни швидкості;

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

Детальніше питання вибору маневру розходження зміною швидкості суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик розглянемо в наступному розділі.

3.3. Висновки за третім розділом.

У третьому розділі одержано аналітичні вирази для дистанції і часу найкоротшого зближення. Приведена формула для розрахунку швидкості зближення суден і запропонована графічна крива для визначення знаку швидкості зближення.

Приведена процедура формування областей небезпечних курсів елементарної групи суден для різних співвідношень їх швидкостей. Показана залежність областей небезпечних курсів від істотних параметрів, включаючи поточну і граничну-допустиму дистанції.

Дане визначення ситуативного збурення і оцінки його значення залежно від ситуації небезпечного зближення, що склалася.

Для випадку, коли швидкість судна менше швидкості цілі, приведені аналітичний метод і графічні діаграми, за допомогою яких можна визначити значення ситуативного збурення залежно від поточної дистанції, швидкостей суден, гранично-допустимої дистанції зближення і швидкості цілі.

За ситуації, коли неможливе маневрування зміною курсу, запропонована процедура формування областей небезпечних швидкостей, за допомогою яких можливо вибрати маневр розходження суден зміною їх швидкостей. При цьому оцінка маневру проводиться в першому наближенні.

РОЗДІЛ 4.

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ ЗМІНОЮ ШВИДКОСТЕЙ СУДЕН З УРАХУВАННЯМ ЇХ ІНЕРЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.

4.1. Умова існування множини безпечних маневрів розходження суден змінюю швидкостей з урахуванням їх інерційності.

Перша з ознак можливого існування множини безпечних маневрів розходження змінюю швидкостей суден полягає в з'ясуванні можливості зміни початкового відносного курсу при зміні швидкостей суден, що зближуються. Для цього розглянемо першу похідну початкового відносного курсу K_{otn} по швидкості судна V_1 . Якщо перша похідна $\frac{\partial K_{\text{otn}}}{\partial V_1}$ буде рівна нулю, то змінити початковий відносний курс K_{otn} маневром швидкості неможливо. В іншому разі слід переконатися, чи можна розійтися з ціллю в допустимій дистанції найкоротшого зближення.

Знайдемо вираз $\frac{\partial K_{\text{otn}}}{\partial V_1}$, для чого скористаємося одержаною в третьому розділі залежністю:

$$K_{\text{otn}} = \arcsin \left[\frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(K_1 - K_2)}} \right].$$

Позначимо $X = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(K_1 - K_2)}}$ та одержимо

$K_{\text{отн}} = \arcsin[X]$, а перша похідна:

$$\frac{\partial K_{\text{отн}}}{\partial V_1} = \sqrt{\frac{1}{1 - X^2}} \frac{\partial X}{\partial V_1}. \quad (4.1)$$

Знайдемо вираз похідної $\frac{\partial X}{\partial V_1}$, для чого запишемо вираз X в наступному

вигляді:

$$X = (V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2) [V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(K_1 - K_2)]^{-1/2}.$$

Тому можна записати:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial V_1} = & -\frac{1}{2} (V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2) (V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^{-3/2} (2V_1 - 2V_2 \cos \Delta K) + \\ & + \sin K_1 (V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^{-1/2}, \end{aligned}$$

де $\Delta K = K_1 - K_2$.

Вираз для похідної $\frac{\partial X}{\partial V_1}$ записуємо в такому вигляді:

$$\frac{\partial X}{\partial V_1} = \frac{\sin K_1 (V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K) - (V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2) (V_1 - V_2 \cos \Delta K)}{(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^{3/2}}.$$

Розглянемо чисельник одержаного виразу и позначимо його S :

$$\begin{aligned}
S &= \sin K_1 (V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K) - (V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2)(V_1 - V_2 \cos \Delta K) = \\
&= V_1^2 \sin K_1 + V_2^2 \sin K_1 - 2V_1 V_2 \sin K_1 \cos \Delta K - (V_1^2 \sin K_1 - V_1 V_2 \sin K_2 - \\
&\quad - V_1 V_2 \sin K_1 \cos \Delta K + V_2^2 \sin K_2 \cos \Delta K).
\end{aligned}$$

Розкриваємо дужки і приводимо подібні члени, а також враховуємо, що $K_0 = K_c + \Delta K$, остаточно одержимо:

$$S = V_2 \{V_2 [\sin(K_2 + \Delta K) - \sin K_2 \cos \Delta K] + V_1 [\sin K_2 - \sin(K_2 + \Delta K) \cos \Delta K]\}.$$

З урахуванням одержаного виразу можна записати:

$$\frac{\partial X}{\partial V_1} = \frac{V_2 \{V_2 [\sin(K_2 + \Delta K) - \sin K_2 \cos \Delta K] + V_1 [\sin K_2 - \sin(K_2 + \Delta K) \cos \Delta K]\}}{(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^{3/2}}.$$

Для отримання похідної $\frac{\partial K}{\partial V_1}$ необхідно знайти явний вигляд виразу

$$\sqrt{\frac{1}{1-X^2}}. \text{ Очевидно:}$$

$$\sqrt{\frac{1}{1-X^2}} = \frac{\sqrt{Sn^2 + Cs^2}}{Cs},$$

$$\text{де } Sn = V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2, \quad Cs = V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2.$$

В цьому разі вираз (4.1) приймає вигляд:

$$\frac{\partial K_{\text{отн}}}{\partial V_1} = \frac{V_2 \{V_2 [\sin(K_2 + \Delta K) - \sin K_2 \cos \Delta K] + V_1 [\sin K_2 - \sin(K_2 + \Delta K) \cos \Delta K]\}}{[V_1 \cos(K_2 + \Delta K) - V_2 \cos K_2](V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)}. \quad (4.2)$$

Подальше перетворення даного виразу дозволяє одержати:

$$\frac{\partial K_{\text{отн}}}{\partial V_1} = - \frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K}. \quad (4.3)$$

Для характеристики зміни відносного курсу при зміні швидкостей обох суден необхідно знайти похідну від виразу (4.3) по змінній V_2 :

$$\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2} = - \frac{\partial}{\partial V_2} \left(\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K} \right).$$

Диференціюючи праву частину рівності, отримаємо:

$$\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2} = - \frac{[(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K) - V_2 (2V_2 - 2V_1 \cos \Delta K)] \sin \Delta K}{(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^2}.$$

Звертаємо увагу, що в чисельнику вираз в квадратних дужках дорівнює:

$$V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K - V_2 (2V_2 - 2V_1 \cos \Delta K) = V_1^2 - V_2^2 = \Delta V (V_1 + V_2),$$

де $\Delta V = V_1 - V_2$.

Отже, остаточно вираз для змішаної похідної $\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2}$ приймає вигляд:

$$\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2} = - \frac{\Delta V (V_1 + V_2) \sin \Delta K}{(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^2}. \quad (4.4)$$

Аналіз одержаного виразу $\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2}$ показує, що при значенні $\Delta K = 0$ і

$\Delta K = 180$ чисельник виразу дорівнює нулю, що означає при проходженні суден на протилежних і паралельних курсах зміна швидкостей суден не впливає на величину відносного курсу. Тому в таких ситуаціях маневр розходження суден зміною швидкостей неможливий, тобто множина безпечних маневрів розходження є порожньою.

З виразу (4.4) також витікає, що при рівності поточних швидкостей суден ($\Delta V = 0$) величина відносного курсу $K_{\text{отн}}$ також не міняється. Тому у разі рівності початкових судових швидкостей при їх однаковій зміні маневр розходження суден зміною швидкостей неможливий.

У попередньому підрозділі показано, що область неприпустимих швидкостей пари суден має межі:

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

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

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

$$\infty > k^* > 0, \quad \infty > k_* > 0 \text{ и } k^* > k_*. \quad (4.5)$$

Інакше множина безпечних маневрів розходження є порожньою. В разі існування область небезпечних швидкостей має вигляд, показаний на рис. 4.1. У даному прикладі параметри ситуації зближення мають наступні значення:

$$\alpha_0 = 45^\circ, \text{ милі}, D_d = 1 \text{ миля}, K_2 = 180^\circ.$$

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

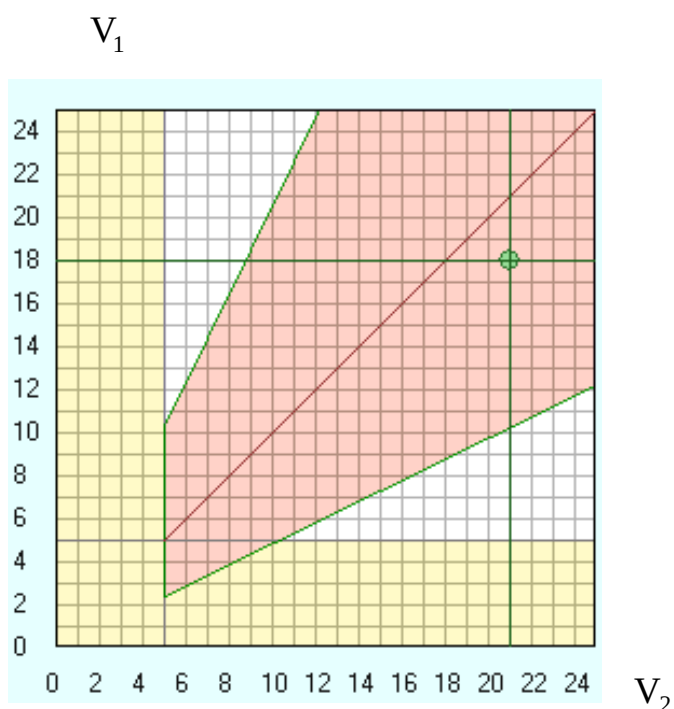


Рис. 4.1. Область небезпечних швидкостей суден

Якщо умова (4.5) справедлива, то урахування інерційних характеристик суден при виборі безпечного маневру розходження суден зміни їх швидкостей полягає в наступному.

За допомогою області небезпечних швидкостей визначається пара безпечних швидкостей V_{1y} і V_{2y} . Через інерційність суден для досягнення необхідних швидкостей розходження V_{1y} і V_{2y} потрібен час τ_{1y} і τ_{2y} .

У загальному випадку ці інтервали часу не рівні між собою. Тому тривалість перехідного процесу t_p від початку зміни швидкостей суден до

вибраних значень V_{1y} і V_{2y} визначається більшим з інтервалів τ_{1y} і τ_{2y} , тобто $t_p = \max(\tau_{1y}, \tau_{2y})$. Якщо у цей момент часу при незмінних курсах суден K_1 і K_2 , а також сталих швидкостях V_{1y} і V_{2y} дистанція найкоротшого зближення буде рівна або більше граничної-допустимої дистанції, то множина безпечних маневрів розходження існує.

Очевидно, значення швидкостей V_{1y} і V_{2y} є меншими, ніж їх початкові значення V_1 і V_2 , тобто маневр розходження суден зміною швидкостей виконується їх гальмуванням, і судна із зниженими швидкостями слідує до моменту часу найкоротшого зближення, після чого збільшують швидкості до початкових значень.

Припустимо, 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 першого судна на друге, то для першого судна доцільно прийняти початкові координати $X_{10} = 0$ і $Y_{10} = 0$. Очевидно, початкові координати другого судна мають значення $X_{20} = D_0 \sin \alpha_0$ і $Y_{20} = D_0 \cos \alpha_0$.

З часом координати суден X_{1t} , Y_{1t} , X_{2t} та Y_{2t} , а також поточні значення дистанції D_t і пеленга α_t змінюються. Позначимо через c_{mx} судно, перехідний період якого більший і рівний тривалості загального перехідного процесу t_p . Судно з меншим перехідним періодом позначимо c_{mn} . Якщо час початку маневру розходження t_n перевершує початковий момент часу t_0 , то судна протягом перехідного процесу t_p проходять наступні дистанції:

$$L_{mx} = V_{mx} t_n + S_{mx},$$

$$L_{mn} = V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny} (t_p - \tau_{mn}),$$

де S_{mx} і S_{mn} - відстані, які проходять відповідно судна c_{mx} і c_{mn} за час перехідного процесу зміни швидкостей τ_{mx} та τ_{mn} .

До моменту часу закінчення загального перехідного процесу t_p координати суден X_{mxp} , Y_{mxp} , X_{mnp} і Y_{mnp} визначаються наступними виразами:

$$\begin{aligned} X_{mxp} &= X_{mx0} + L_{mx} \sin K_{mx} = X_{mx0} + (V_{mx} t_n + S_{mx}) \sin K_{mx}; \\ Y_{mxp} &= Y_{mx0} + L_{mx} \cos K_{mx} = Y_{mx0} + (V_{mx} t_n + S_{mx}) \cos K_{mx}; \\ X_{mnp} &= X_{mn0} + L_{mn} \sin K_{mn} = X_{mn0} + [V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny}(t_p - \tau_{mn})] \sin K_{mn} \\ &\quad ; \\ Y_{mnp} &= Y_{mn0} + L_{mn} \cos K_{mn} = Y_{mn0} + [V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny}(t_p - \tau_{mn})] \cos K_{mn} \\ &\quad . \end{aligned}$$

Значення пеленгу α_p і дистанції D_p на момент часу t_p :

$$\begin{aligned} D_p &= \sqrt{(X_{mxp} - X_{mnp})^2 + (Y_{mxp} - Y_{mnp})^2}, \\ \alpha_p &= \arcsin \frac{X_{mxp} - X_{mnp}}{D_p}, \end{aligned}$$

причому чверть, в якій знаходиться пеленг α_p , визначається знаками виразів $(X_{mxp} - X_{mnp})$ і $(Y_{mxp} - Y_{mnp})$.

У момент часу t_p параметри руху обох суден стають незмінними, як і відносний курс $K_{отр}$. Тому дистанція найкоротшого зближення суден D_{min} розраховується за допомогою формули:

$$D_{min} = \Delta_p D_p \sin(K_{отр} - \alpha_p), \quad (4.6)$$

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

Якщо набуте значення D_{min} рівне або більше величини D_d , то існує множина допустимих маневрів розходження за допомогою вибраних швидкостей V_{1y} і V_{2y} . Інакше слід вибрати іншу пару швидкостей V_{1y} і V_{2y} ,

які не належать області небезпечних швидкостей, і повторити перевірку існування множини допустимих маневрів.

Оскільки вибір безпечних швидкостей V_{1y} і V_{2y} за допомогою області небезпечних швидкостей розглядався в попередньому розділі, то тут слід знайти вирази тривалості перехідних процесів τ_{1y} і τ_{2y} обох суден, а також відстаней S_1 і S_2 , які судна проходять за ці інтервали часу. При цьому необхідно враховувати, що зниження швидкостей суден можливе як активним, так і пасивним гальмуванням.

4.2. Активне і пасивне гальмування судна.

Знайдемо аналітичні залежності, що характеризують тривалість перехідного процесу τ , пройденої за цей час відстані S від значень початкової і кінцевої швидкостей судна, а також залежність швидкості судна від часу при активному і пасивному гальмування.

Розглянемо спочатку активне гальмування. У роботі [2] вказується, що активне гальмування судна при постійному курсі з достатньою для практики точністю описується диференціальним рівнянням залежності швидкості судна V від упору гвинта F , причому в цьому випадку сила упору гвинта співпадає по знаку з силою опору:

$$M \frac{dV}{dt} + vV^2 + F = 0,$$

де M - маса судна з приєднаними масами води;

v - коефіцієнт опору.

Дане рівняння можна записати в наступному вигляді:

$$M \frac{dV}{dt} = -vV^2 - F. \quad (4.7)$$

Після завершення перехідного процесу судно набуває незмінну сталу швидкість, яка пропорційна упору гвинта F . Її величина визначається з умови динамічної рівноваги, при якій сила інерції рівна нулю, тобто:

$$vV_F^2 = F.$$

Тому рівняння (4.7) приймає вигляд:

$$M \frac{dV}{dt} = -v(V^2 + V_F^2),$$

звідки одержуємо рівняння із змінними, що розділяються:

$$\frac{dV}{V^2 + V_F^2} = -\frac{v}{M} dt. \quad (4.8)$$

Інтегруємо обидві частини рівняння:

$$\frac{1}{V_F} \operatorname{arctg} \frac{V}{V_F} \Big|_{V_o}^{V_y} = -\frac{v}{M} t,$$

звідки знаходимо залежність для інтервалу часу τ_a зниження швидкості судна із значення V_o до значення V_y в режимі активного гальмування:

$$\tau_a = \frac{M}{vV_F} \left[\operatorname{arctg} \frac{V_o}{V_F} - \operatorname{arctg} \frac{V_y}{V_F} \right], \quad (4.9)$$

причому V_F - швидкість, відповідна упору гвинта на задній хід.

При активному гальмуванні вираз для пройденої відстані S_a знаходимо, підставляючи у формулу (4.8) співвідношення $dt = \frac{dS}{V}$:

$$\frac{dV}{(V^2 + V_F^2)} = -\frac{v}{M} \frac{dS}{V}.$$

З останнього рівняння:

$$dS = -\frac{M}{v} \frac{VdV}{(V^2 + V_F^2)}.$$

Інтегрування обох частин останнього рівняння дозволяє знайти залежність пройденої відстані S_a від зміни швидкості судна із значення V_o до значення V_y в режимі активного гальмування:

$$S = -\frac{M}{2v} \ln \left| V^2 + V_F^2 \right| \Bigg|_{V_o}^{V_y},$$

або, підставляючи межі інтегрування:

$$S_a = \frac{M}{2v} \ln \left| \frac{V_o^2 + V_F^2}{V_y^2 + V_F^2} \right|.$$

З виразу (4.9) можна одержати залежність швидкості судна при активному гальмуванні від часу. Приймаючи замість τ_a поточний час t , з (4.9) одержимо:

$$\frac{M}{vV_F} \operatorname{arctg} \frac{V_y}{V_F} = \frac{M}{vV_F} \operatorname{arctg} \frac{V_o}{V_F} - t,$$

звідки

$$\operatorname{arctg} \frac{V_y}{V_F} = \operatorname{arctg} \frac{V_o}{V_F} - \frac{vV_F}{M} t.$$

З останнього виразу одержимо залежність швидкості судна від часу при активному гальмуванні:

$$V(t) = V_y = V_F \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{V_o}{V_F} - \frac{vV_F}{M} t \right).$$

При пасивному гальмуванні сила упору гвинта рівна нулю і початкове диференціальне рівняння руху судна приймає наступний вигляд:

$$M \frac{dV}{dt} + vV^2 = 0, \quad \text{або}$$

$$M \frac{dV}{dt} = -vV^2.$$

Після розділення змінних в цьому рівнянні:

$$\frac{M}{v} \frac{dV}{V^2} = -dt. \quad (4.10)$$

Інтегруємо останнє рівняння:

$$-\frac{M}{vV} = -t + C. \quad (4.11)$$

При $t=0$, очевидно, $V = V_0$ і постійна інтегрування C визначається виразом:

$$C = -\frac{M}{vV_0},$$

тому з виразу (4.11) знаходимо залежність:

$$\tau_p = \frac{M}{v} \left(\frac{1}{V_y} - \frac{1}{V_0} \right), \quad (4.12)$$

яка характеризує визначення інтервалу часу τ_p , необхідного для зниження швидкості судна із значення V_0 до значення V_y .

Залежність швидкості судна від часу при пасивному гальмуванні можна знайти з виразу (4.12):

$$\frac{1}{V_y} - \frac{1}{V_0} = \frac{v}{M} t, \text{ або}$$

$$V(t) = V_y = \frac{V_0}{1 + \frac{V_0 v}{M} t}.$$

Вираз для дистанції S_p , яку судно проходить при пасивному гальмуванні, знайдемо за допомогою формули (4.10). З цією метою скористаємося співвідношенням $dt = \frac{dS}{V}$. З виразу (4.10):

$$\frac{M}{v} \frac{dV}{V^2} = -\frac{dS}{V}.$$

Після розділення змінних і інтегрування заміною змінної:

$$\frac{M}{v} \frac{1}{2} \ln |V^2| = -S + C.$$

З останнього рівняння знаходимо постійну інтегрування C за початкових умов, $t = 0$, $S_0 = 0$ і $V = V_0$:

$$C = \frac{M}{2v} \ln |V_0^2|.$$

З урахуванням одержаного виразу:

$$S = \frac{M}{2v} (\ln |V_0^2| - \ln |V^2|),$$

або остаточно одержимо:

$$S_p = \frac{M}{2v} \ln \left| \frac{V_0^2}{V_y^2} \right|,$$

де V_y - швидкість судна в завершенні пасивного гальмування.

Підводячи підсумки вищевикладеному, приведемо одержані залежності для активного гальмування:

$$\tau_a = \frac{M}{vV_F} \left[\arctg \frac{V_0}{V_F} - \arctg \frac{V_y}{V_F} \right],$$

$$S_a = \frac{M}{2v} \ln \left| \frac{V_0^2 + V_F^2}{V_y^2 + V_F^2} \right|,$$

$$V_a = V_F \operatorname{tg} \left(\arctg \frac{V_0}{V_F} - \frac{vV_F}{M} t \right).$$

У разі пасивного гальмування:

$$\tau_p = \frac{M}{v} \left(\frac{1}{V_y} - \frac{1}{V_0} \right),$$

$$S_p = \frac{M}{2v} \ln \left| \frac{V_o^2}{V_y^2} \right|,$$

$$V_p = \frac{V_o}{1 + \frac{V_o v}{M} t}.$$

4.3. Визначення аналітичним способом оптимального маневру розходження зміною швидкостей.

У підрозділі 4.1 одержали умову існування множини маневрів розходження суден зміною їх швидкостей. Перш за все, необхідно, щоб різниця курсів суден відрізнялася від значень 0° і 180° . Також вимагається, щоб різниця початкових і поточних швидкостей суден відрізнялася від нуля. Якщо вказані вимоги виконуються, то слід перевірити істинність вимоги (4.5). Якщо ситуація небезпечного зближення задовольняє вимозі (4.5), то для $t_n = 0$ по виразу (4.6) розраховується дистанція найкоротшого зближення $D_{\min}$. При $D_{\min} \geq D_d$ множина маневрів розходження суден існує.

Відзначимо, що будемо розглядати три варіанти маневру розходження: обидва судна знижують швидкість активним гальмуванням, одне з суден використовує активне гальмування, а друге судно – пасивне гальмування і обидва судна виконують маневр пасивного гальмування. При будь-якому з варіантів маневру розходження враховуються початкові швидкості руху суден V_1 , V_2 і вибрані безпечні швидкості V_{1y} , V_{2y} . Маневри розходження відрізняються значенням моменту часу початку маневру розходження t_n , причому при нерівності $D_{\min} \geq D_d$ значення t_n змінюється від 0 до значення t_n^* , при якому $D_{\min} = D_d$, тобто $t_n \in [0, t_n^*]$.

Оптимальним маневром розходження є такий маневр, при виконанні якого досягають мінімуму втрати ходового часу суден Δt_{mv} , викликаного

маневром. Якщо судна чисто розходяться, то $\Delta t_{mv} = 0$. Якщо ж необхідне гальмування суден для розходження, то Δt_{mv} рівні інтервалу часу від початку часу гальмування t_n до моменту часу відновлення початкових швидкостей суден після найкоротшого зближення, тобто:

$$\Delta t_{mv} = \tau_{mx} + \Delta \tau_p + \tau_{mv}, \quad (4.14)$$

де $\Delta \tau_p$ - інтервал часу між закінченням перехідного процесу по зниженню швидкостей суден і моментом часу найкоротшого зближення, як показано на рис. 4.2;

τ_{mv} - інтервал часу, необхідний для збільшення швидкостей суден до початкових значень V_1 і V_2 .

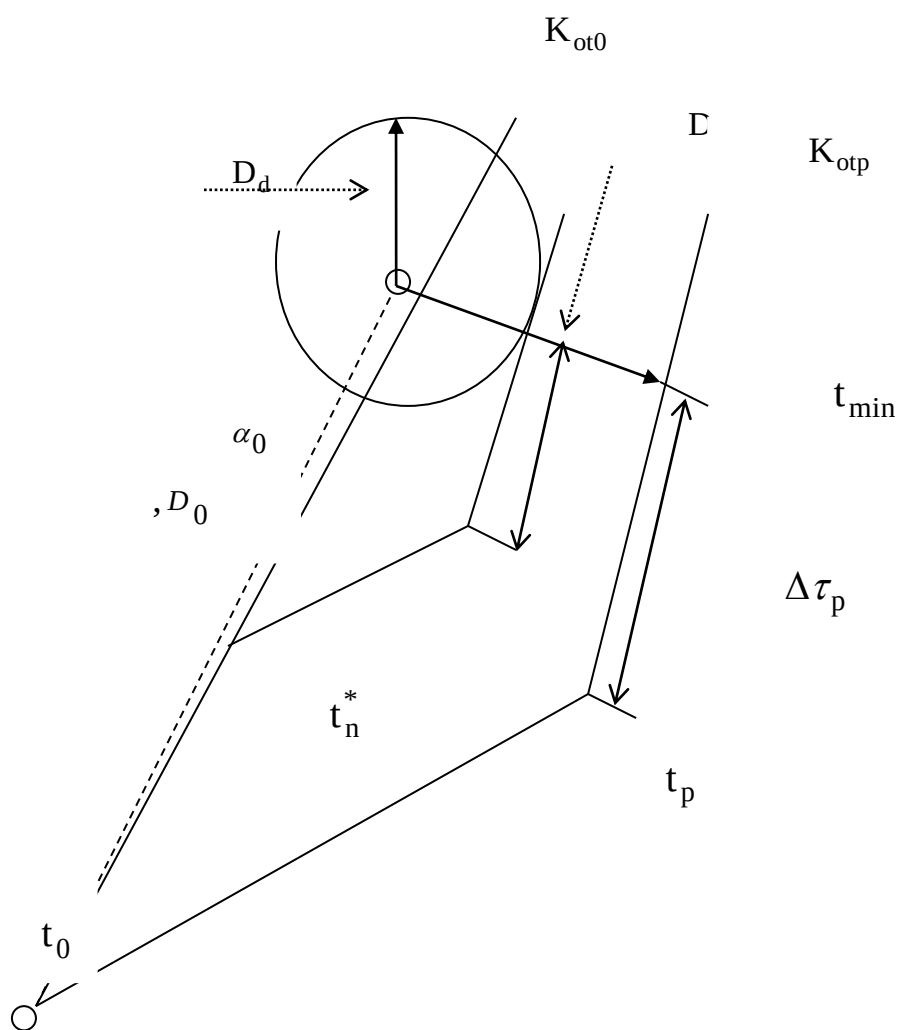


Рис. 4.2. Вибір оптимального маневру розходження

Оскільки всі безпечні маневри розходження відрізняються тільки величиною часу початку маневру t_n , а інтервали часу τ_{mx} і τ_{my} всіх маневрів однакові, то оптимальним буде маневр з мінімальним значенням $\Delta\tau_p$. З аналізу рис. 4.2 виходить, що величина $\Delta\tau_p$ скорочується із зменшенням дистанції найкоротшого зближення, і оптимальним маневром є маневр, при якому $D_{min} = D_d$ і $t_n = t_n^*$. Для аналітичного розрахунку моменту часу початку маневру t_n^* спочатку знайдемо залежність D_{min} від t_n . Для цього скористаємося виразом (4.6):

$$D_{min} = \Delta_p D_p \sin(K_{отр} - \alpha_p) = \Delta_p D_p (\sin K_{отр} \cos \alpha_p - \cos K_{отр} \sin \alpha_p).$$

Враховуємо, що:

$$\sin \alpha_p = \frac{X_{mxp} - X_{mnp}}{D_p}, \quad \cos \alpha_p = \frac{Y_{mxp} - Y_{mnp}}{D_p}.$$

Тому запишемо:

$$\sin K_{отр} \frac{Y_{mxp} - Y_{mnp}}{D_p} - \cos K_{отр} \frac{X_{mxp} - X_{mnp}}{D_p} = \frac{\Delta_p D_{min}}{D_p}, \text{ або}$$

$$\sin K_{отр} (Y_{mxp} - Y_{mnp}) - \cos K_{отр} (X_{mxp} - X_{mnp}) = \Delta_p D_{min}.$$

Підставляємо в останню рівність раніше одержані вирази для координат суден X_{mxp} , Y_{mxp} , X_{mnp} і Y_{mnp} :

$$\sin K_{отр} \{ (V_{mx} t_n + S_{mx}) \cos K_{mx} - [V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny} (t_p - \tau_{mn})] \cos K_{mn} \} -$$

$$-\cos K_{\text{отп}} \{ (V_{\text{mx}} t_n + S_{\text{mx}}) \sin K_{\text{mx}} - [V_{\text{mn}} t_n + S_{\text{mn}} + V_{\text{mny}} (t_p - \tau_{\text{mn}})] \sin K_{\text{mn}} \} = \Delta_p D_{\text{min}}.$$

Перетворимо одержане рівняння:

$$\begin{aligned} \sin K_{\text{отп}} (V_{\text{mx}} \cos K_{\text{mx}} t_n - V_{\text{mn}} \cos K_{\text{mn}} t_n) - \cos K_{\text{отп}} (V_{\text{mx}} \sin K_{\text{mx}} t_n - V_{\text{mn}} \sin K_{\text{mn}} t_n) = \\ \Delta_p D_{\text{min}} - \sin K_{\text{отп}} \{ S_{\text{mx}} \cos K_{\text{mx}} - [S_{\text{mn}} + V_{\text{mny}} (t_p - \tau_{\text{mn}})] \cos K_{\text{mn}} \} + \\ + \cos K_{\text{отп}} \{ S_{\text{mx}} \sin K_{\text{mx}} - [S_{\text{mn}} + V_{\text{mny}} (t_p - \tau_{\text{mn}})] \sin K_{\text{mn}} \}. \end{aligned}$$

Групуємо члени рівняння:

$$\begin{aligned} t_n [\sin K_{\text{отп}} (V_{\text{mx}} \cos K_{\text{mx}} - V_{\text{mn}} \cos K_{\text{mn}}) - \cos K_{\text{отп}} (V_{\text{mx}} \sin K_{\text{mx}} - V_{\text{mn}} \sin K_{\text{mn}})] = \\ \Delta_p D_{\text{min}} + S_{\text{mx}} (\cos K_{\text{отп}} \sin K_{\text{mx}} - \sin K_{\text{отп}} \cos K_{\text{mx}}) + \\ + [S_{\text{mn}} + V_{\text{mny}} (t_p - \tau_{\text{mn}})] (\cos K_{\text{отп}} \sin K_{\text{mn}} - \sin K_{\text{отп}} \cos K_{\text{mn}}), \end{aligned}$$

звідки одержимо:

$$\begin{aligned} t_n [V_{\text{mx}} (\sin K_{\text{отп}} \cos K_{\text{mx}} - \cos K_{\text{отп}} \sin K_{\text{mx}}) - V_{\text{mn}} (\sin K_{\text{отп}} \cos K_{\text{mn}} - \cos K_{\text{отп}} \sin K_{\text{mn}})] = \\ \Delta_p D_{\text{min}} + S_{\text{mx}} \sin(K_{\text{mx}} - K_{\text{отп}}) + [S_{\text{mn}} + V_{\text{mny}} (t_p - \tau_{\text{mn}})] \sin(K_{\text{mn}} - K_{\text{отп}}), \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} t_n [V_{\text{mx}} \sin(K_{\text{отп}} - K_{\text{mx}}) - V_{\text{mn}} \sin(K_{\text{отп}} - K_{\text{mn}})] = \\ \Delta_p D_{\text{min}} + S_{\text{mx}} \sin(K_{\text{mx}} - K_{\text{отп}}) + [S_{\text{mn}} + V_{\text{mny}} (t_p - \tau_{\text{mn}})] \sin(K_{\text{mn}} - K_{\text{отп}}). \end{aligned}$$

З останнього виразу одержимо формулу залежності t_n від D_{min} :

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

Напевно, для оптимального маневру момент часу t_n^* визначається виразом:

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

Практично розрахунок значення t_n^* доцільно виконувати по наступному алгоритму. Початковим є вираз для визначення D_{min} :

$$D_{min} = \text{Abs}[D_p \sin(K_{otp} - \alpha_p)]. \quad (4.15)$$

Оскільки по завершенню перехідного процесу при $t_n = 0$ справедлива нерівність $D_{min} > D_d$ і відносний курс K_{otp} є постійним, то із зростанням t_n значення D_{min} зменшується, а також змінюються величини пеленга α_p і дистанції D_p . Тому для кожного значення $t_n > 0$ слід розрахувати величини α_p і D_p , по яких за допомогою формули (4.15) визначається величина D_{min} . Набуте значення D_{min} порівнюється з величиною граничної-допустимої дистанції D_d . Процес розрахунку циклічно продовжується до тих пір, поки не досягається рівність $D_{min} = D_d$, при цьому $t_n = t_n^*$.

Пеленг $\alpha_p(t_n)$ і дистанція $D_p(t_n)$ залежно від моменту часу початку маневру t_n визначаються виразами:

$$\alpha_p(t_n) = \arcsin \frac{X_{mxp} - X_{mnp}}{D_p(t_n)},$$

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

де $X_{mxp} = L_{mx}(t_n) \sin K_{mx}$; $Y_{mxp} = L_{mx}(t_n) \cos K_{mx}$;

$X_{mnp} = L_{mn}(t_n) \sin K_{mn}$; $Y_{mnp} = L_{mn}(t_n) \cos K_{mn}$.

У свою чергу відстані, які проходять судна до моменту закінчення перехідного процесу їх гальмування, визначається виразами:

$$\begin{aligned} L_{mx}(t_n) &= V_{mx}t_n + S_{mx}, \\ L_{mn}(t_n) &= V_{mn}t_n + S_{mn} + V_{mny}(t_p - \tau_{mn}). \end{aligned} \quad (4.16)$$

У приведених виразах S_{mx} і S_{mn} - відстані гальмування суден, які залежать від вибраного режиму гальмування кожного з суден.

При виконанні маневру розходження зміною швидкостей пари суден можливі чотири варіанти вибору режиму гальмування:

- обидва судна використовують активне гальмування (варіант А);
- обидва судна використовують пасивне гальмування (варіант В);
- перше судно застосовує активне гальмування, а друге судно – пасивне гальмування (варіант С);
- перше судно застосовує пасивне гальмування, а друге судно – активне гальмування (варіант D).

Розглянемо кожний з перерахованих варіантів. При першому варіанті маневру розходження (А) по початкових V_1 , V_2 і вибраних V_{1y} , V_{2y} швидкостям суден визначаються тривалості τ_{1y} і τ_{2y} перехідних процесів обох суден за допомогою виразів:

$$\begin{aligned} \tau_{1y} &= \frac{M_1}{vV_{F1}} \left[\arctg \frac{V_1}{V_{F1}} - \arctg \frac{V_{1y}}{V_{F1}} \right], \\ \tau_{2y} &= \frac{M_2}{vV_{F2}} \left[\arctg \frac{V_2}{V_{F2}} - \arctg \frac{V_{2y}}{V_{F2}} \right]. \end{aligned} \quad (4.17)$$

Також розраховуємо відстані S_1 і S_2 гальмування суден:

$$\begin{aligned}
S_1 &= \frac{M_1}{2v} \ln \left| \frac{V_1^2 + V_{F1}^2}{V_{1y}^2 + V_{F1}^2} \right|, \\
S_2 &= \frac{M_2}{2v} \ln \left| \frac{V_2^2 + V_{F2}^2}{V_{2y}^2 + V_{F2}^2} \right|.
\end{aligned} \tag{4.18}$$

При використанні варіанту В маневру розходження, коли обидва судна знижують швидкості пасивним гальмуванням, величини τ_{1y} , τ_{2y} , S_1 і S_2 розраховуються по формулах:

$$\begin{aligned}
\tau_{1y} &= \frac{M_1}{v} \left(\frac{1}{V_{1y}} - \frac{1}{V_1} \right), \\
\tau_{2y} &= \frac{M_2}{v} \left(\frac{1}{V_{2y}} - \frac{1}{V_2} \right), \\
S_1 &= \frac{M_1}{2v} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right|, \\
S_2 &= \frac{M_2}{2v} \ln \left| \frac{V_2^2}{V_{2y}^2} \right|.
\end{aligned} \tag{4.19}$$

Якщо застосовується варіант розходження С, при якому перше судно знижує швидкість активним гальмуванням, а друге судно – пасивним гальмуванням, то:

$$\begin{aligned}
\tau_{1y} &= \frac{M_1}{vV_{F1}} \left[\arctg \frac{V_1}{V_{F1}} - \arctg \frac{V_{1y}}{V_{F1}} \right], \\
\tau_{2y} &= \frac{M_2}{v} \left(\frac{1}{V_{2y}} - \frac{1}{V_2} \right), \\
S_1 &= \frac{M_1}{2v} \ln \left| \frac{V_1^2 + V_{F1}^2}{V_{1y}^2 + V_{F1}^2} \right|,
\end{aligned} \tag{4.20}$$

$$S_2 = \frac{M_2}{2v} \ln \left| \frac{V_2^2}{V_{2y}^2} \right|.$$

І, нарешті, при використанні варіанту D маневру розходження його параметри τ_{1y} , τ_{2y} , S_1 і S_2 розраховуються за допомогою виразів:

$$\begin{aligned} \tau_{1y} &= \frac{M_1}{v} \left(\frac{1}{V_{1y}} - \frac{1}{V_1} \right), \\ \tau_{2y} &= \frac{M_2}{vV_{F2}} \left[\operatorname{arctg} \frac{V_2}{V_{F2}} - \operatorname{arctg} \frac{V_{2y}}{V_{F2}} \right], \\ S_1 &= \frac{M_1}{2v} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right|, \\ S_2 &= \frac{M_2}{2v} \ln \left| \frac{V_2^2 + V_{F2}^2}{V_{2y}^2 + V_{F2}^2} \right|. \end{aligned} \quad (4.21)$$

Порівнюючи одержані величини τ_{1y} і τ_{2y} , знаходимо характеристики для виразу (4.16). Якщо справедлива нерівність $\tau_{1y} > \tau_{2y}$, то:

$$\begin{aligned} \tau_{mx} &= \tau_{1y}, \tau_{mn} = \tau_{2y}, S_{mx} = S_1, S_{mn} = S_2, V_{mx} = V_1, V_{mn} = V_2, V_{mny} = V_{2y}, \\ K_{mx} &= K_1, K_{mn} = K_2. \end{aligned}$$

У випадку $\tau_{1y} < \tau_{2y}$:

$$\begin{aligned} \tau_{mx} &= \tau_{2y}, \tau_{mn} = \tau_{1y}, S_{mx} = S_2, S_{mn} = S_1, V_{mx} = V_2, V_{mn} = V_1, V_{mny} = V_{1y}, \\ K_{mx} &= K_2, K_{mn} = K_1. \end{aligned}$$

Використовуючи одержані параметри, починаючи з $t_n = 0$ і збільшуючи його в кожному циклі на вибраний приріст Δt_n , спочатку за допомогою виразів (4.16) розраховуються значення $L_{mx}(t_n)$ і $L_{mn}(t_n)$, а потім по формулі (4.15) – дистанція найкоротшого зближення $D_{\min}$. Обчислення

продовжуються до тих пір, поки не наступить рівність $D_{\min} = D_d$, при якій $t_n = t_n^*$, що відповідає оптимальному маневру розходження.

4.4. Процедура комп'ютерного графічного визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей суден.

У реальних ситуаціях небезпечного зближення можуть виникати чинники, що не дозволяють вибирати для розходження оптимальне значення моменту часу початку маневру t_n^* , наприклад, інші судна або плавальні засоби. У таких ситуаціях необхідно вибирати момент часу t_n найближчий до оптимального значення t_n^* , який забезпечує безпечне розходження суден при заданих режимах гальмування.

Тому доцільна розробка комп'ютерної програми, що дозволяє визначати значення $D_{\min}$ при покроковій зміні величини t_n .

У дисертаційній роботі запропонований можливий варіант такої комп'ютерної програми, який дозволяє визначити значення t_n^* по зміні дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$. Спочатку передбачене введення параметрів ситуації небезпечного зближення: пеленга, дистанції, швидкостей V_1 , V_2 і курсів K_1 , K_2 суден, а також граничної-допустимої дистанції D_d . Як показано на рис. 4.3, дані параметри виводяться на екран монітора, причому розраховується і також виводиться дистанція найкоротшого зближення $D_{\min}$.

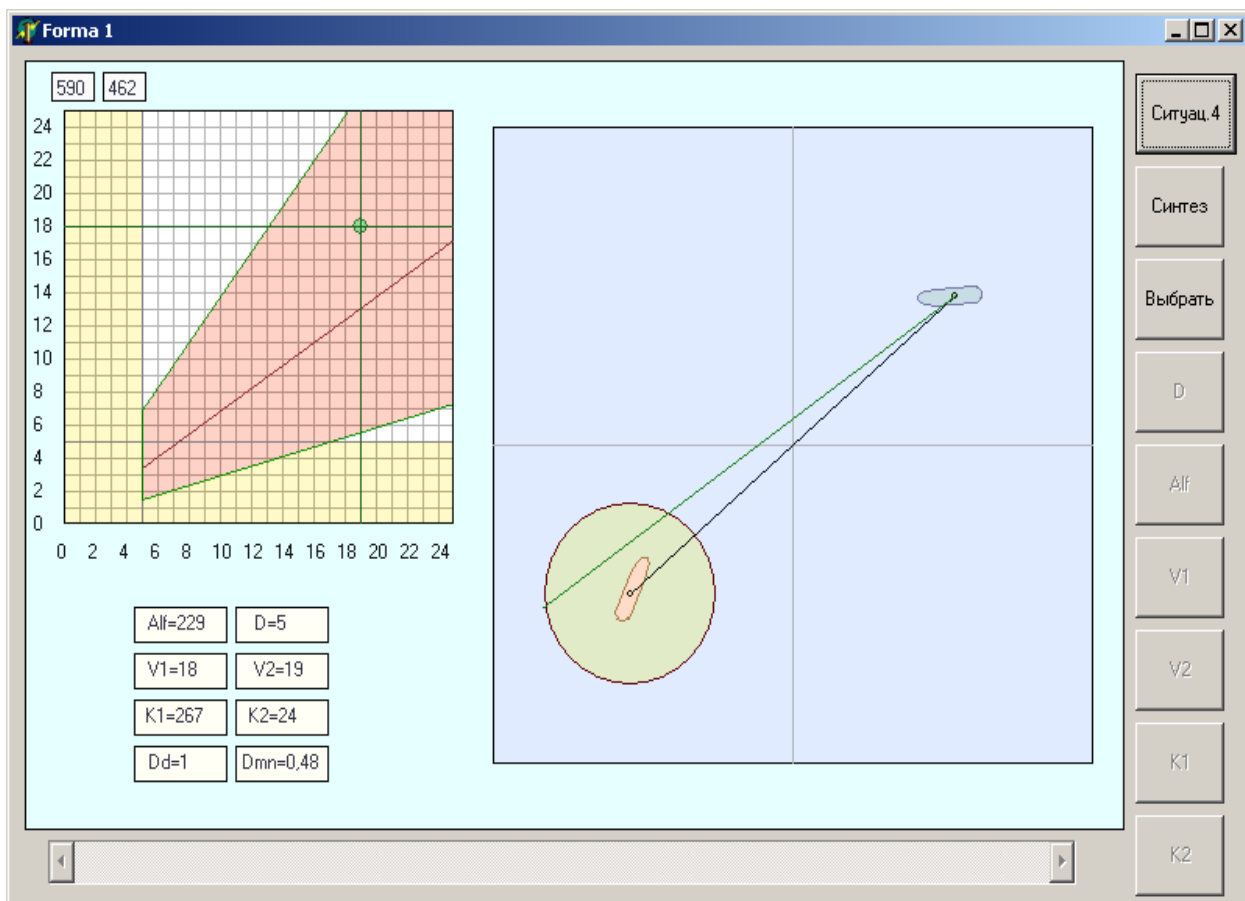


Рис. 4.3. Відображення ситуації небезпечного зближення

Причому для приведеної ситуації небезпечного зближення параметри рівні наступним значенням: $\alpha_0 = 229^\circ$, $D_0 = 5$ миль, $K_1 = 267^\circ$, $K_2 = 24^\circ$, $V_1 = 18$ вуз., $V_2 = 19$ вуз., $D_d = 1$ миля. У правій частині екрану показана початкова ситуація зближення.

Для безпечного розходження суден зміною швидкості вибрана точка швидкостей розходження, яка не належить області небезпечних швидкостей, причому $V_{1y} = 13$ вуз., $V_{2y} = 7$ вуз., як показано на рис. 4. 4. У цьому випадку

досягши значень швидкостей суден $V_{1y} = 13$ вуз. і $V_{2y} = 7$ вуз. відносний курс стає рівним 246° .

За допомогою клавіш, що позначають судна і режим гальмування, для першого судна вибрано зниження швидкості судна активним гальмуванням.

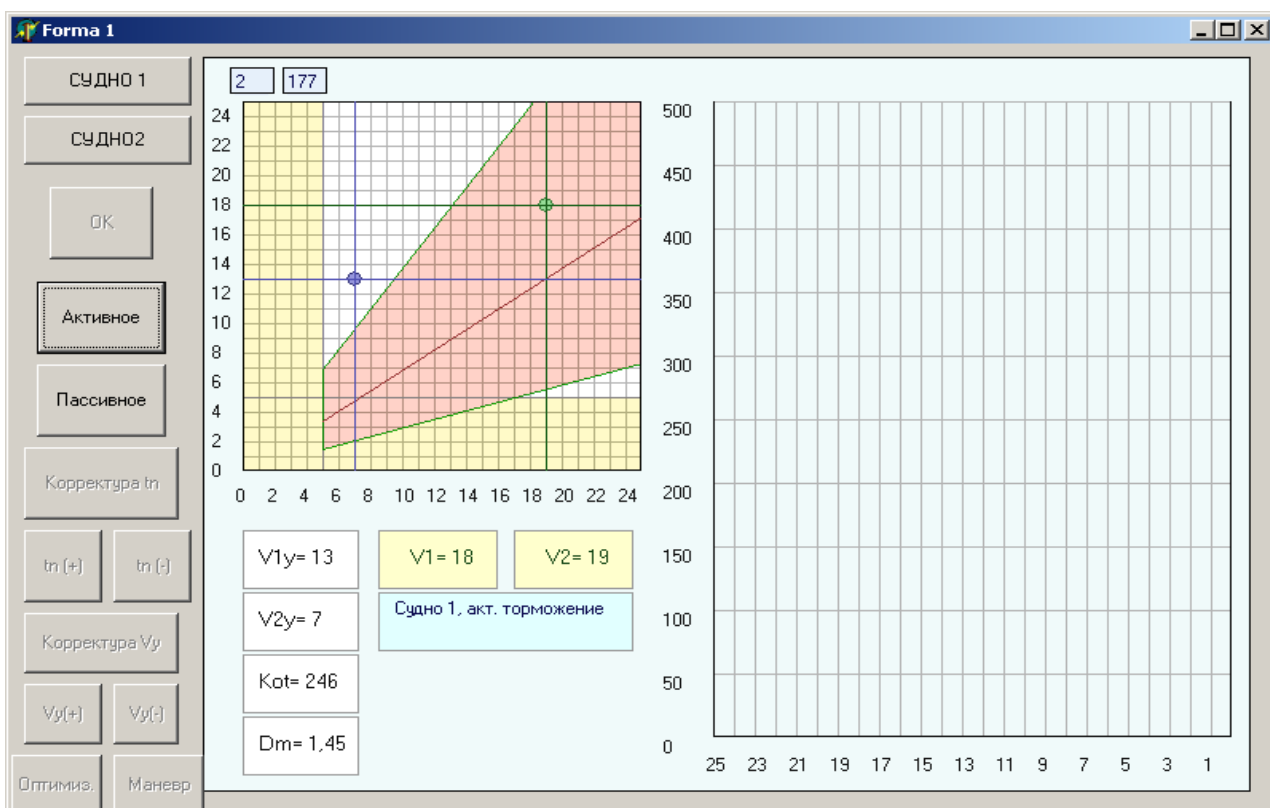


Рис. 4.4. Вибір режиму гальмування першого судна

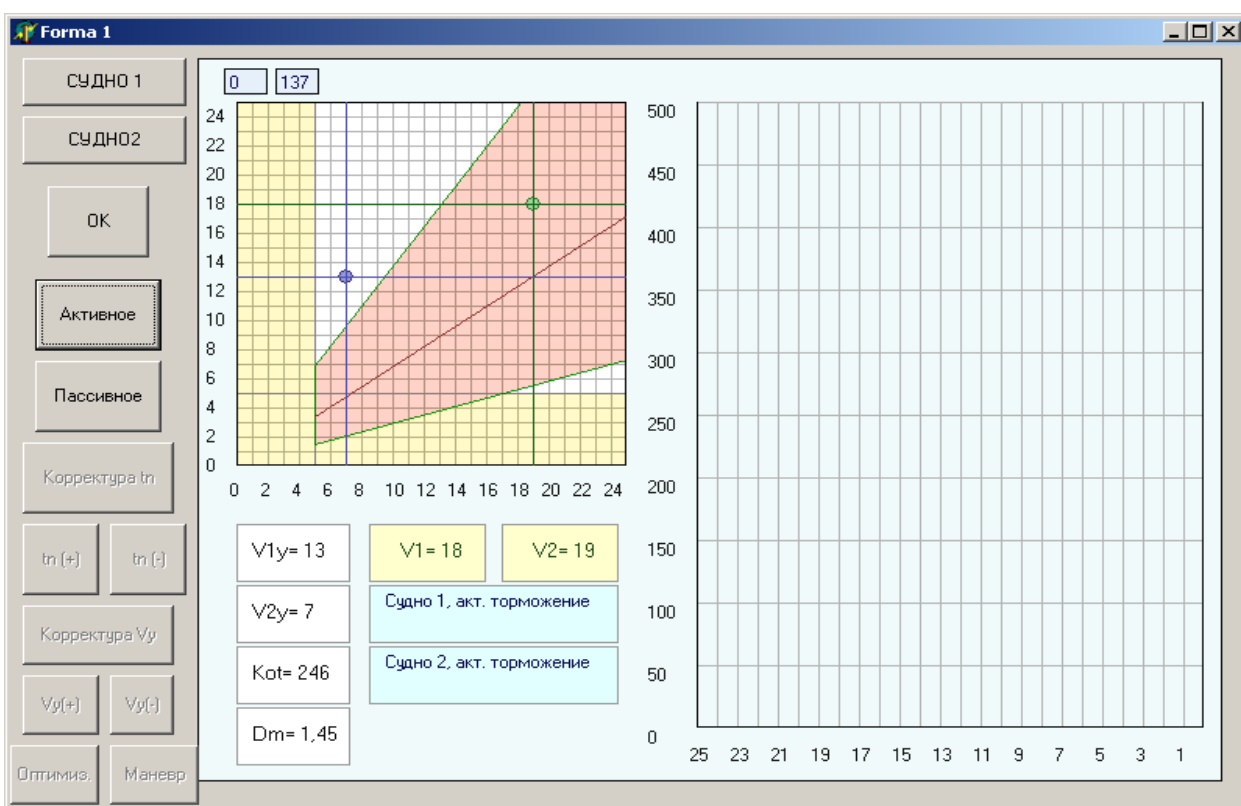


Рис. 4.5. Вибір активного гальмування другим судном

Потім, як показано на рис. 4.5, і для іншого судна також вибраний режим активного гальмування. Програма виконує необхідні розрахунки і, як показано на рис. 4.6, на екран виводяться тривалості перехідних процесів кожного з суден $\tau_{1y} = 23$ с і $\tau_{2y} = 82$ с, пройдені за цей час відстані $S_1 = 0,98$ кбт. і $S_2 = 2,63$ кбт. Також виводиться повідомлення про можливість маневру розходження, а також оптимальне значення $t_n^* = 227$ с, при якому $D_{\min} = 0,99$ милі, тобто рівно граничній-допустимій дистанції D_d . У правій частині екрану приведені криві залежності швидкості суден від часу при активному гальмуванні, причому на кривих відмічені початкові швидкості суден і швидкості, вибрані для розходження. На рис. 4.7 приведена характеристика маневру розходження при $t_n = 0$, в цьому випадку дистанція найкоротшого зближення $D_{\min} = 1,39$ милі, а відповідний цьому час рівний $t_d = 309$ с. На рис. 4.8 і 4.9 представлені характеристики маневру розходження відповідно при $t_n = 50$ с і $t_n = 150$ с.

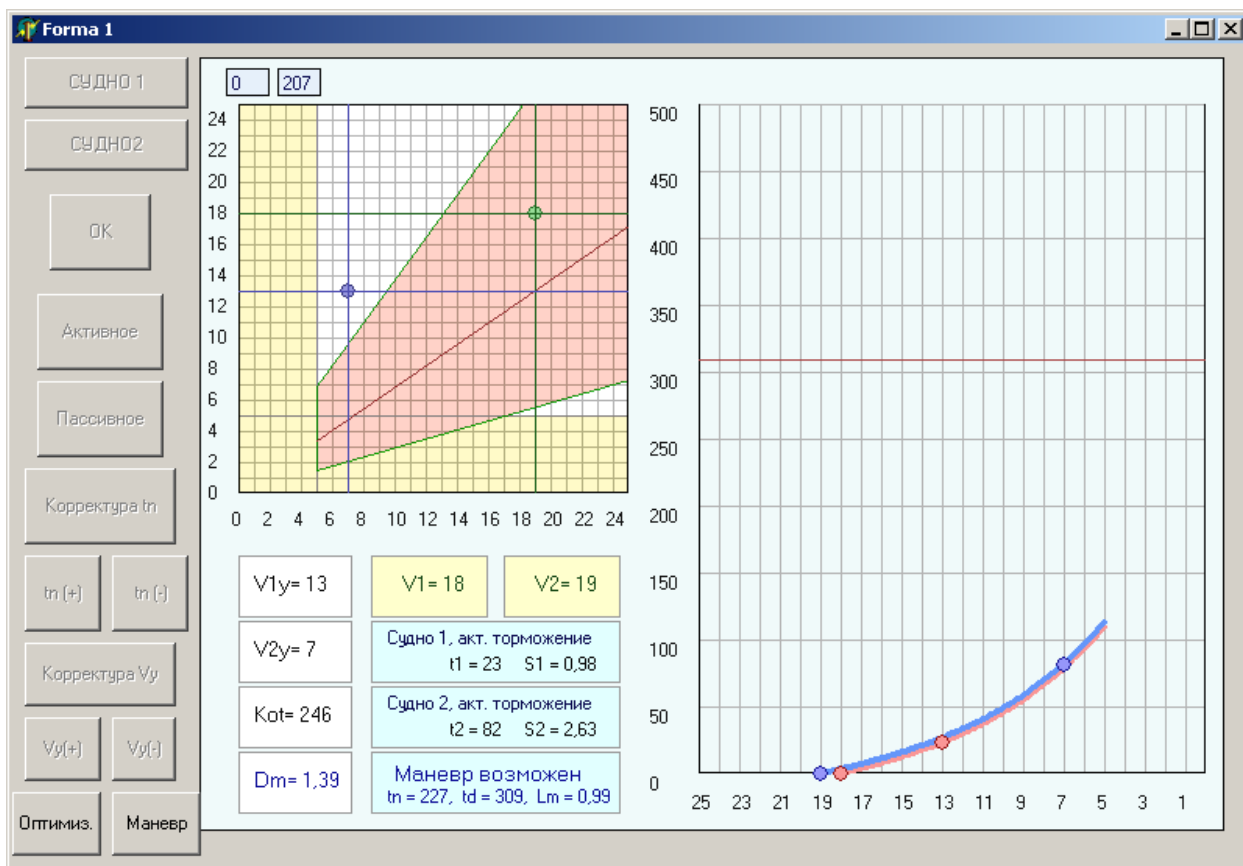
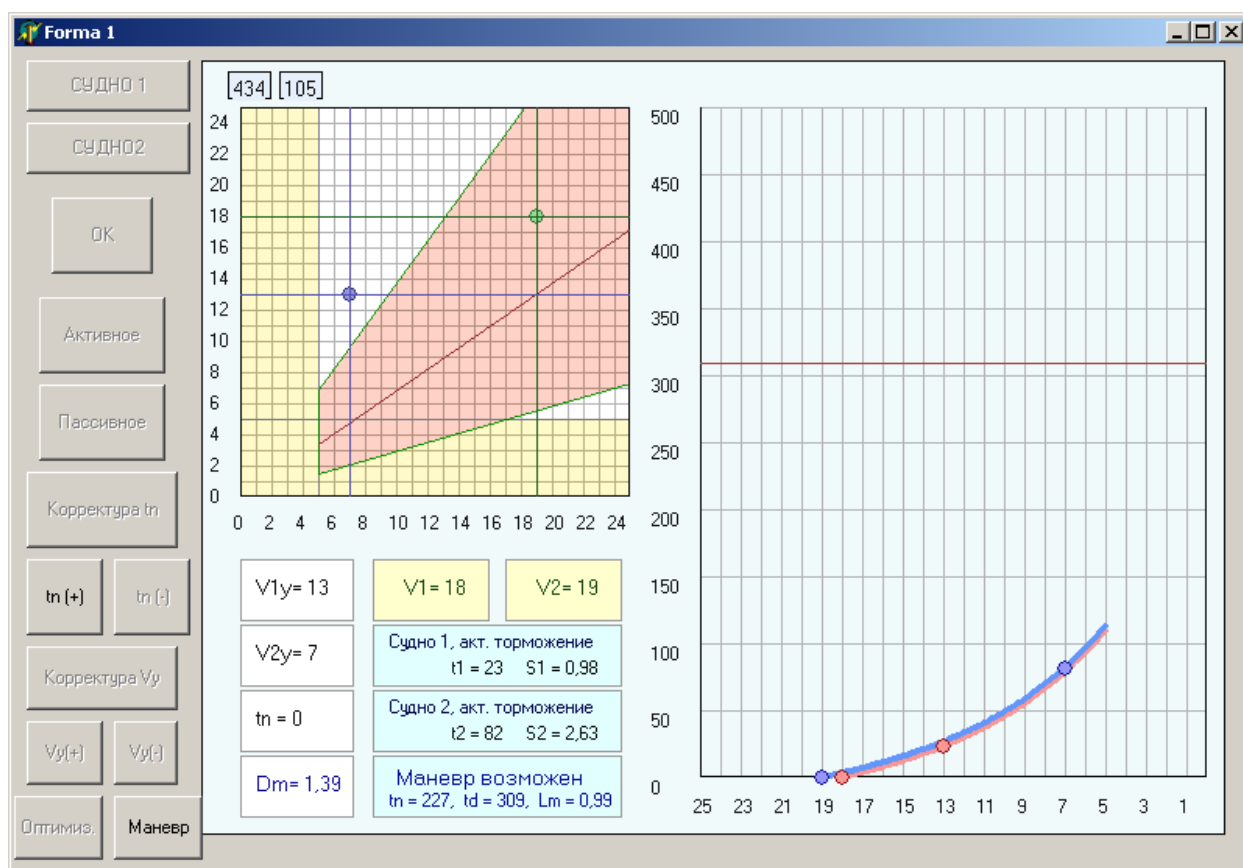
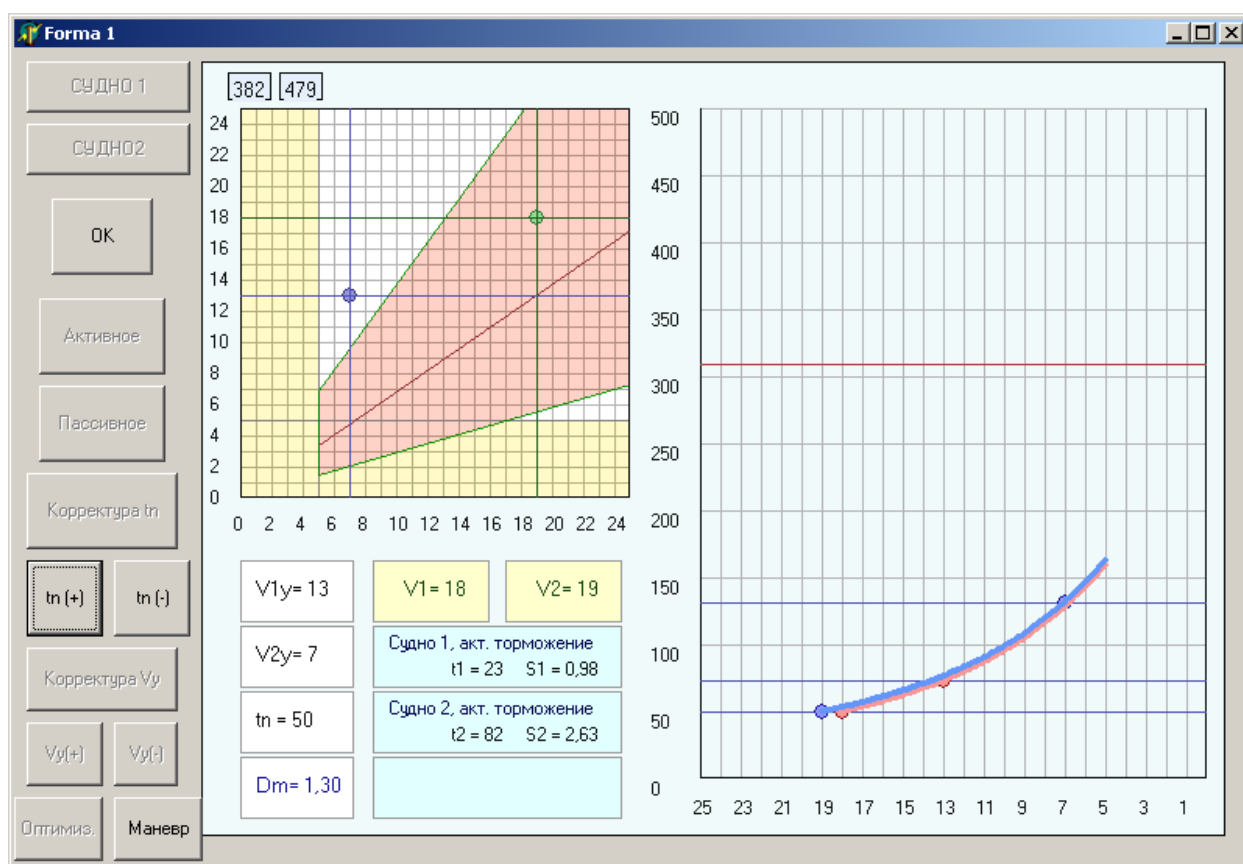


Рис. 4.6. Криві активного гальмування суден

Рис. 4.7. Характеристика маневру розходження при $t_n = 0$ сРис. 4.8. Характеристика маневру розходження при $t_n = 50$ с

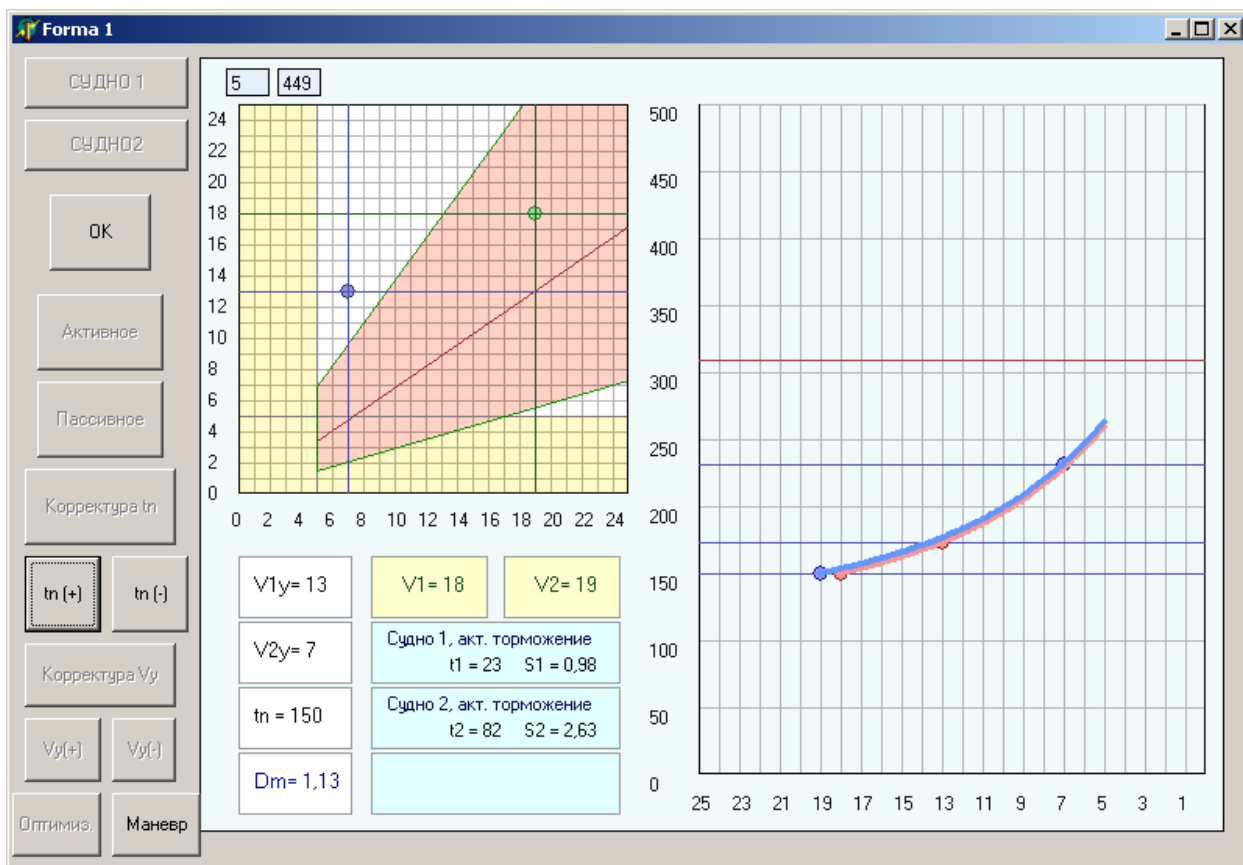


Рис. 4.9. Характеристика маневру розходження $t_n = 150$ с

Як впливає з рис. 4.7, час найкоротшого зближення $t_d = 309$ с відмічено на правому графіку горизонтальною лінією, а обидві криві залежності часу від швидкості починаються в нульовий момент часу. Із збільшенням моменту часу початку гальмування t_n обидва криві гальмування на графіку переміщуються вгору на величину t_n , так на рис. 4.8 криві зміщені вгору на 50 с, а на рис. 4.9 - на 150 с. При цьому горизонтальна лінія на графіку, відповідна закінченню перехідного процесу наближається до лінії, відповідної $t_d = 309$ с.

Так, на рис. 4.10 $t_n = t_n^* = 226$ с лінія закінчення перехідного процесу суміщена з лінією, відповідною $t_d = 309$ с, а оптимальному маневру відповідає $D_{\min} = 1,00$ милі.

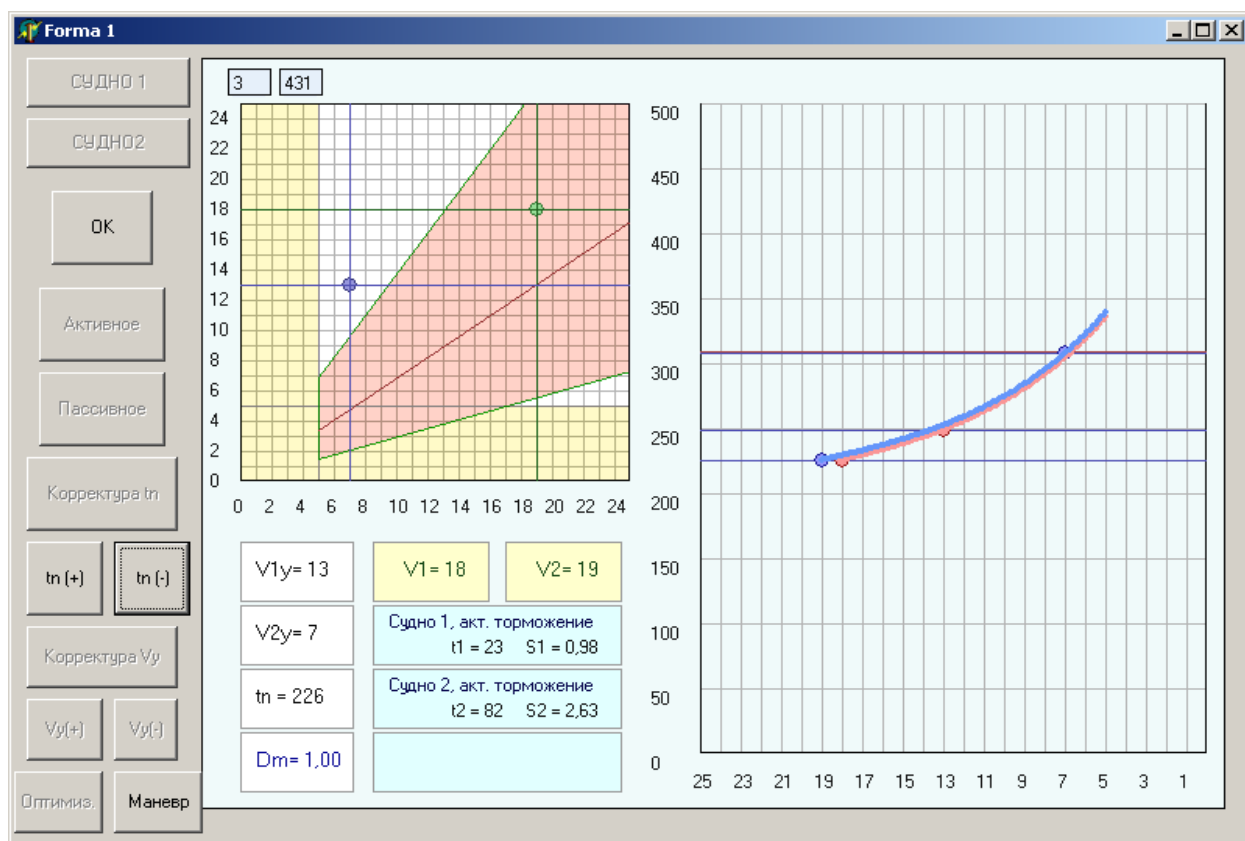


Рис. 4.10. Характеристика маневра расхождения при $t_n = t_n^* = 226$ с

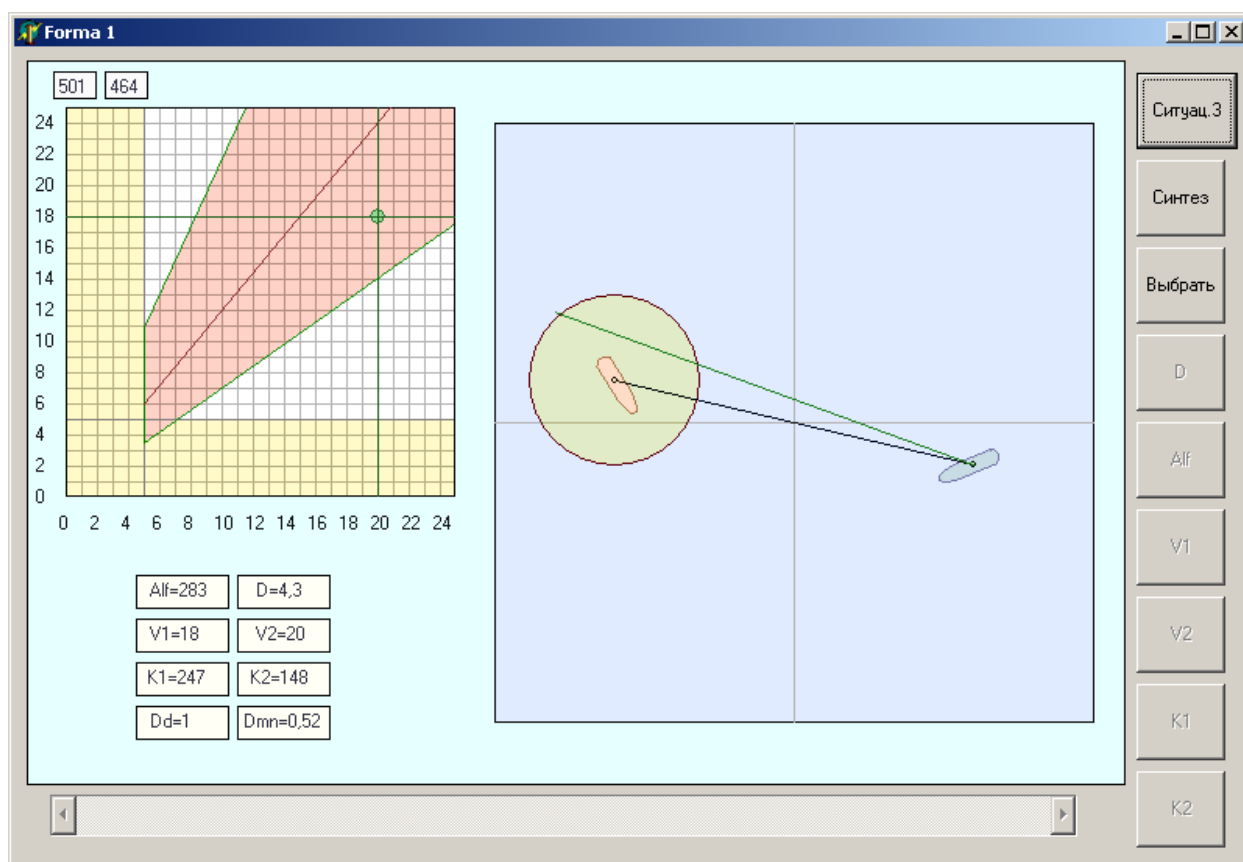


Рис. 4.11. Відображення другої ситуації небезпечного зближення

Друга ситуація небезпечного зближення показана на рис. 4.11. Вона характеризується наступними параметрами: $\alpha_0 = 283^\circ$, $D_0 = 4,3$ милі, $K_1 = 247^\circ$, $K_2 = 148^\circ$, $V_1 = 18$ вуз., $V_2 = 20$ вуз., $D_d = 1$ миля. Початкова ситуація зближення представлена в правій частині екрану.

Для безпечного розходження суден зміною швидкості вибрана точка швидкостей розходження, яка не належить області небезпечних швидкостей, з координатами $V_{1y} = 6,9$ вуз. і $V_{2y} = 13,1$ вуз., як показано на рис. 4.12. При даних швидкостях відносний курс рівний 302° . З цього ж рисунка виходить, що для маневру розходження обома суднами вибране пасивне гальмування. Тривалості перехідних процесів кожного з суден складають $\tau_{1y} = 235$ с і $\tau_{2y} = 69$ с, а пройдені за цей час відстані - $S_1 = 7,09$ кбт. і $S_2 = 3,10$ кбт. Також виводиться повідомлення про можливість маневру розходження, а також оптимальне значення $t_n^* = 141$ с.

На графіку приведені криві пасивного гальмування суден. На рис. 4.13

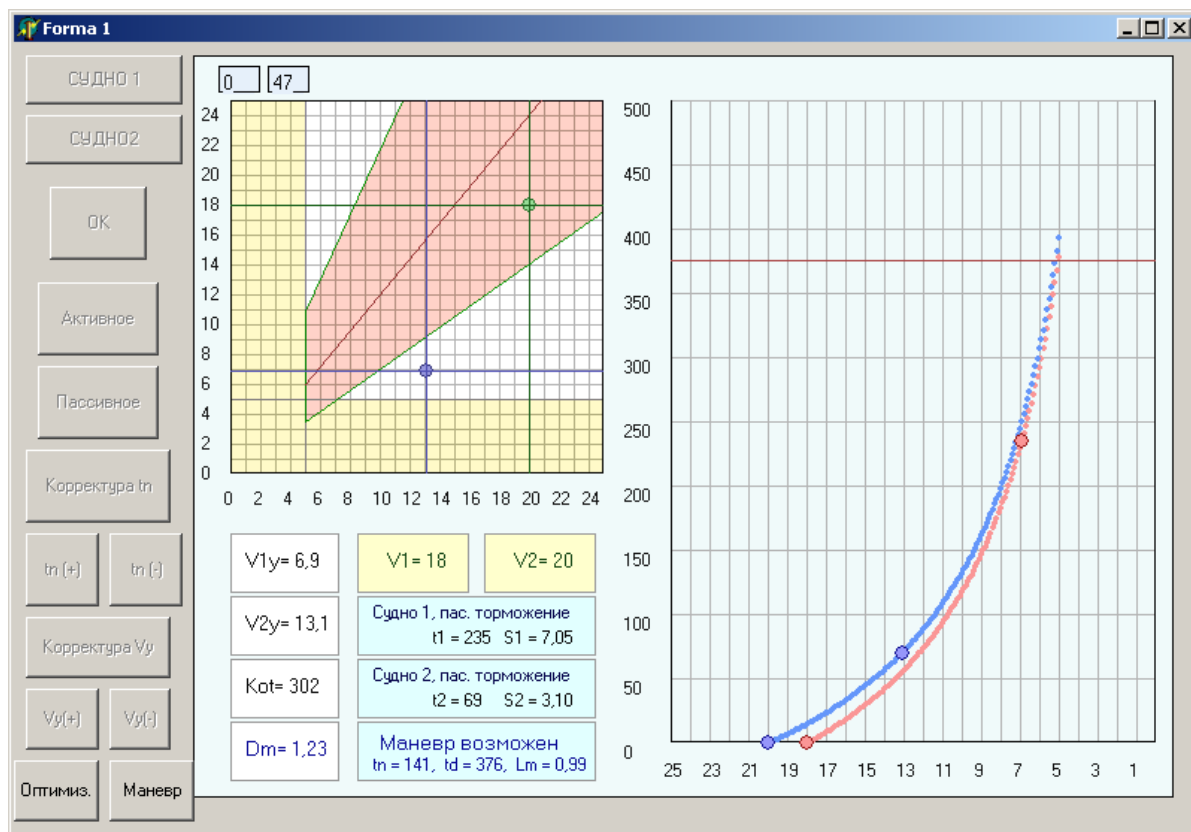


Рис. 4.12. Криві пасивного гальмування суден

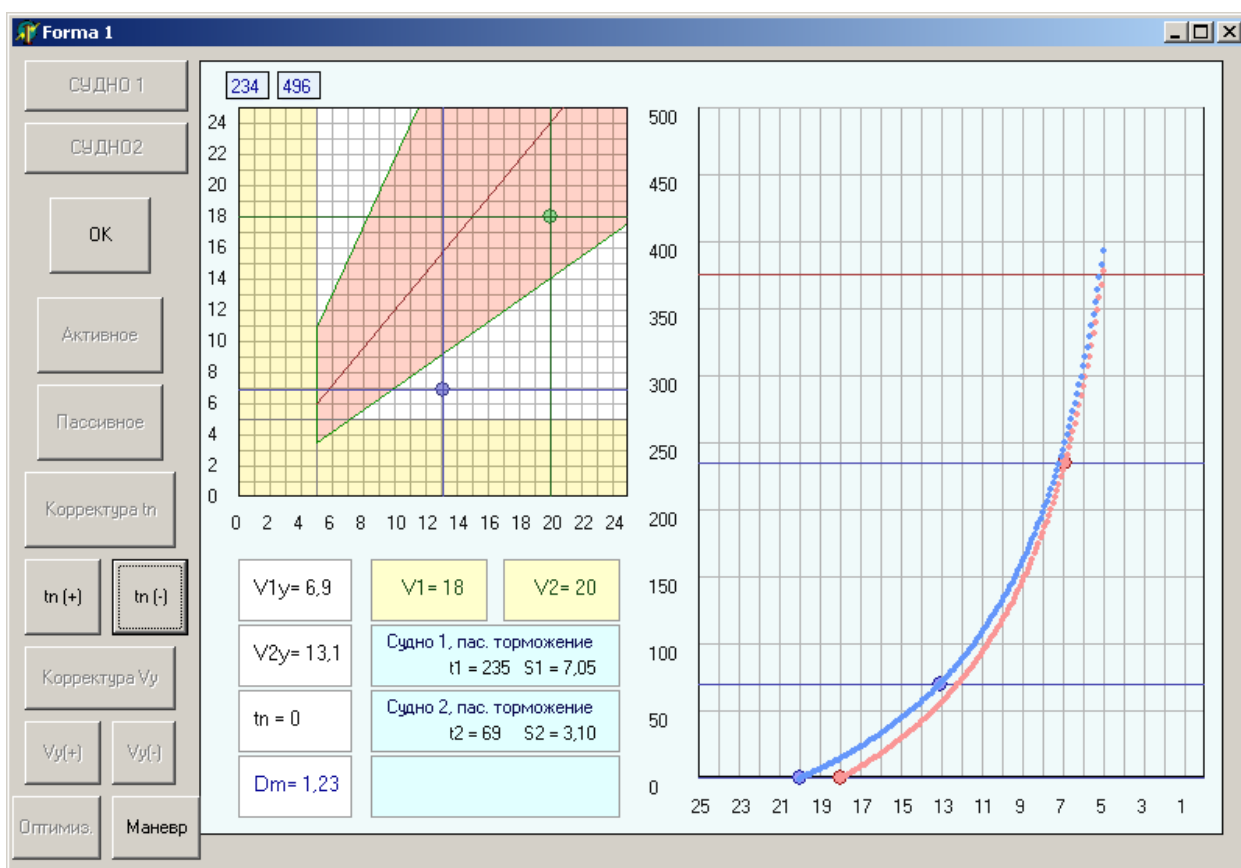


Рис. 4.13. Характеристика маневру пассивного гальмування при $t_n = 0$ с представлена характеристика маневру розходження пасивним гальмуванням у випадку $t_n = 0$ с. Показано, що в цьому випадку судна розійдуться на дистанції найкоротшого зближення $D_{\min} = 1,23$ милі у момент часу найкоротшого зближення $t_d = 376$ с.

На рис. 4.14 показаний стан процесу пасивного гальмування, якщо момент початку гальмування $t_n = 100$ с. В цьому випадку дистанція найкоротшого зближення складе $D_{\min} = 1,06$ милі, а криві пасивного гальмування зміщуються вгору по осі часу, причому лінія завершення перехідного процесу наближається до лінії часу найкоротшого зближення $t_d = 376$ с.

Стан маневру розходження пасивним гальмуванням при $t_n = 141$ с

показаний на рис. 4.15. Цей момент часу визначає оптимальний маневр розходження, при якому дистанція найкоротшого зближення рівна $D_{\min} = 0,99$ милі.

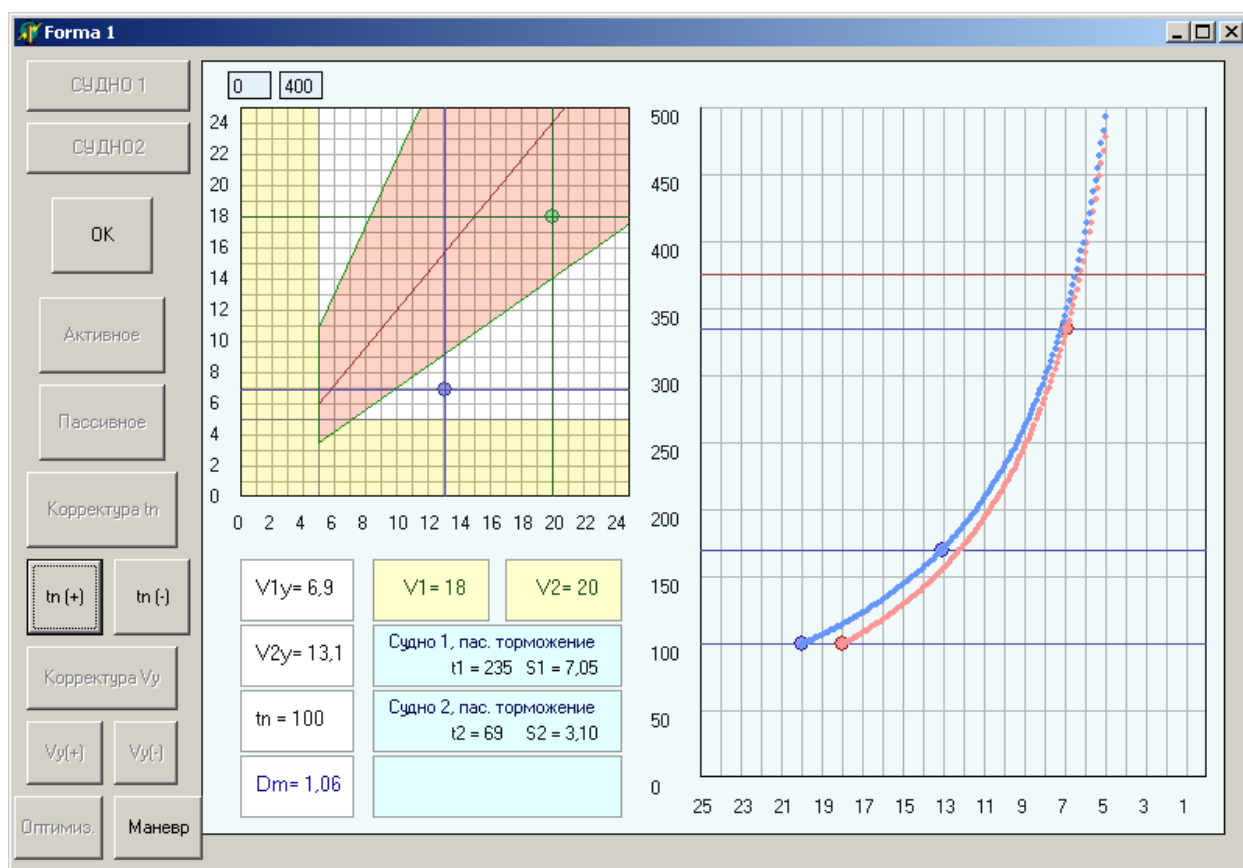


Рис. 4.14. Характеристика маневру пассивного гальмування при $t_n = 100$ с

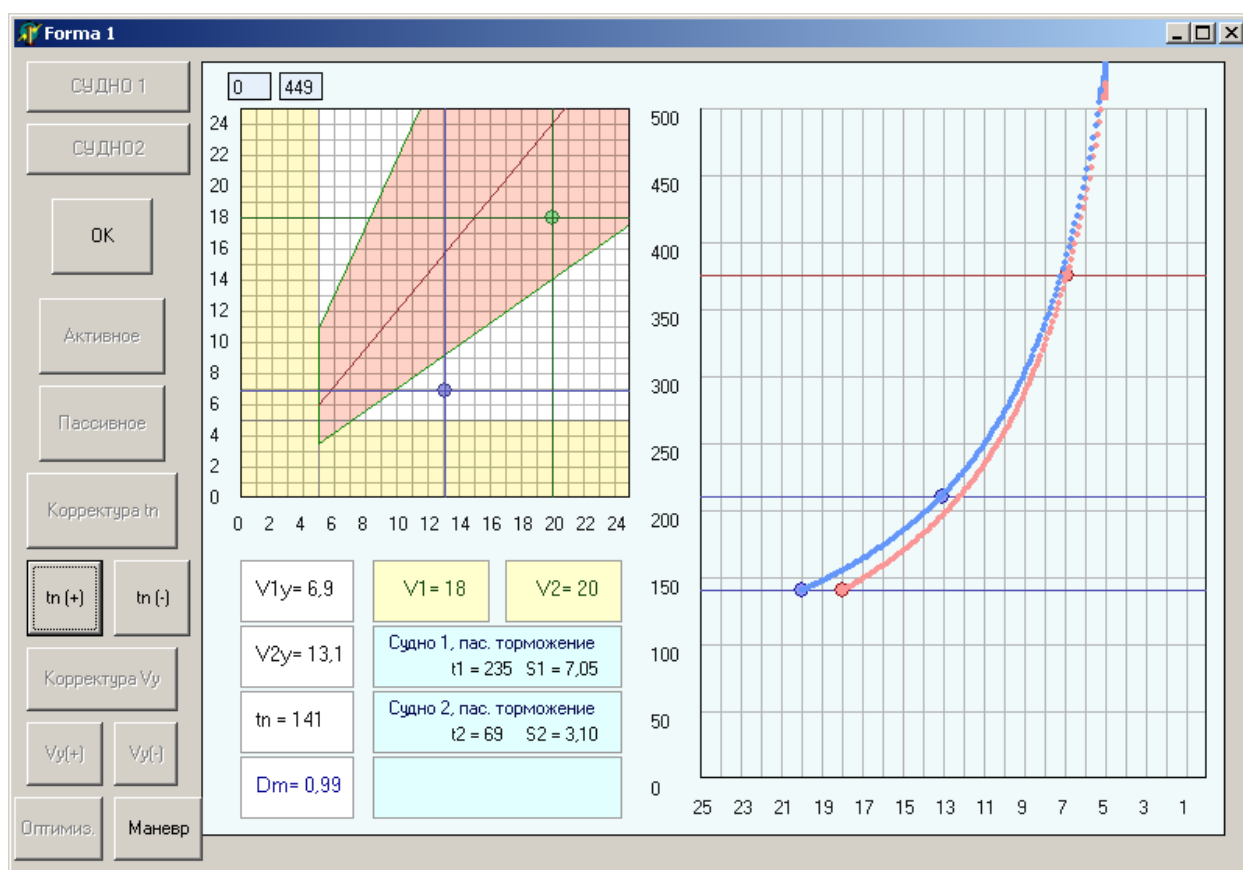


Рис. 4.15. Характеристика маневру пассивного гальмування при $t_n = 141$ с

На рис. 4.16 відображена третя ситуація небезпечного зближення, яка характеризується параметрами: $D_0 = 4,3$ милі, $\alpha_0 = 176^\circ$, $K_1 = 138^\circ$, $K_2 = 31^\circ$, $V_1 = 16$ вуз., $V_2 = 22$ вуз., $D_d = 1$ миля. У правій частині екрану показана початкова ситуація небезпечного зближення суден.

Для безпечного розходження суден зміною швидкості вибрана точка швидкостей розходження, яка не належить області небезпечних швидкостей і координати якої $V_{1y} = 7,0$ вуз. і $V_{2y} = 20,1$ вуз., як показано на рис. 4.17. При даних швидкостях відносний курс дорівнює 194° . З цього ж рисунка виходить, що для маневру розходження першим судном вибране активне гальмування, а другим судном - пасивне гальмування.

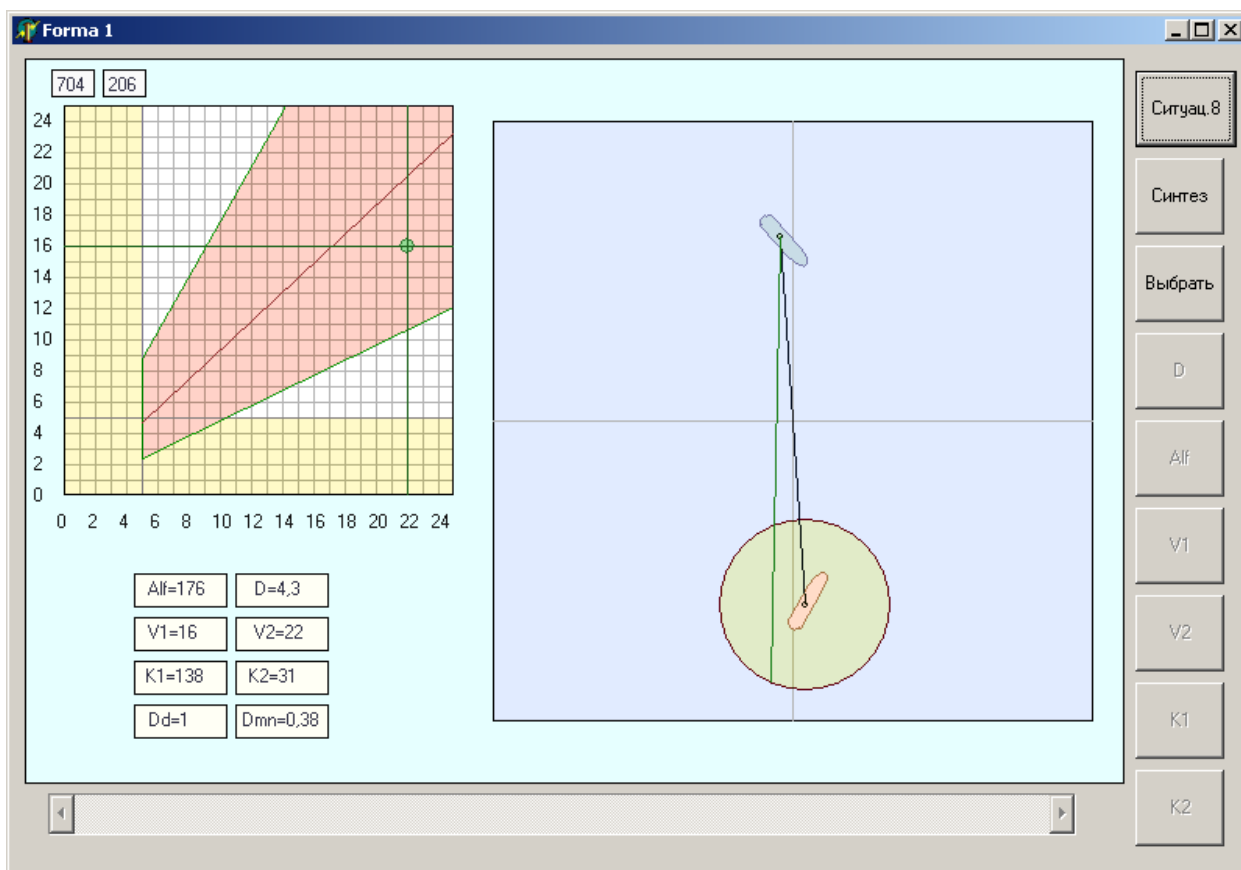


Рис. 4.16. Відображення третьої ситуації небезпечного зближення

Тривалості перехідних процесів кожного з суден складають $\tau_{1y} = 71$ с і $\tau_{2y} = 11$ с, а пройдені за цей час відстані - $S_1 = 2,08$ кбт. і $S_2 = 0,63$ кбт. Також

виводиться повідомлення про можливість маневру розходження, а також оптимальне значення $t_n^* = 148$ с. На графіку приведені криві активного і пасивного гальмування суден.

Характеристики маневру розходження активним і пасивним гальмуванням у випадку $t_n = 0$ с представлена на рис. 4.18. З рисунка виходить, що судна розійдуться на дистанції найкоротшого зближення $D_{\min} = 1,28$ милі у момент часу найкоротшого зближення $t_d = 219$ с.

На рис. 4.19 показано стан процесу розходження маневром гальмування для $t_n = 50$ с. Дистанція найкоротшого зближення в цьому випадку складе $D_{\min} = 1,18$ милі, а криві активного і пасивного гальмування зміщуються

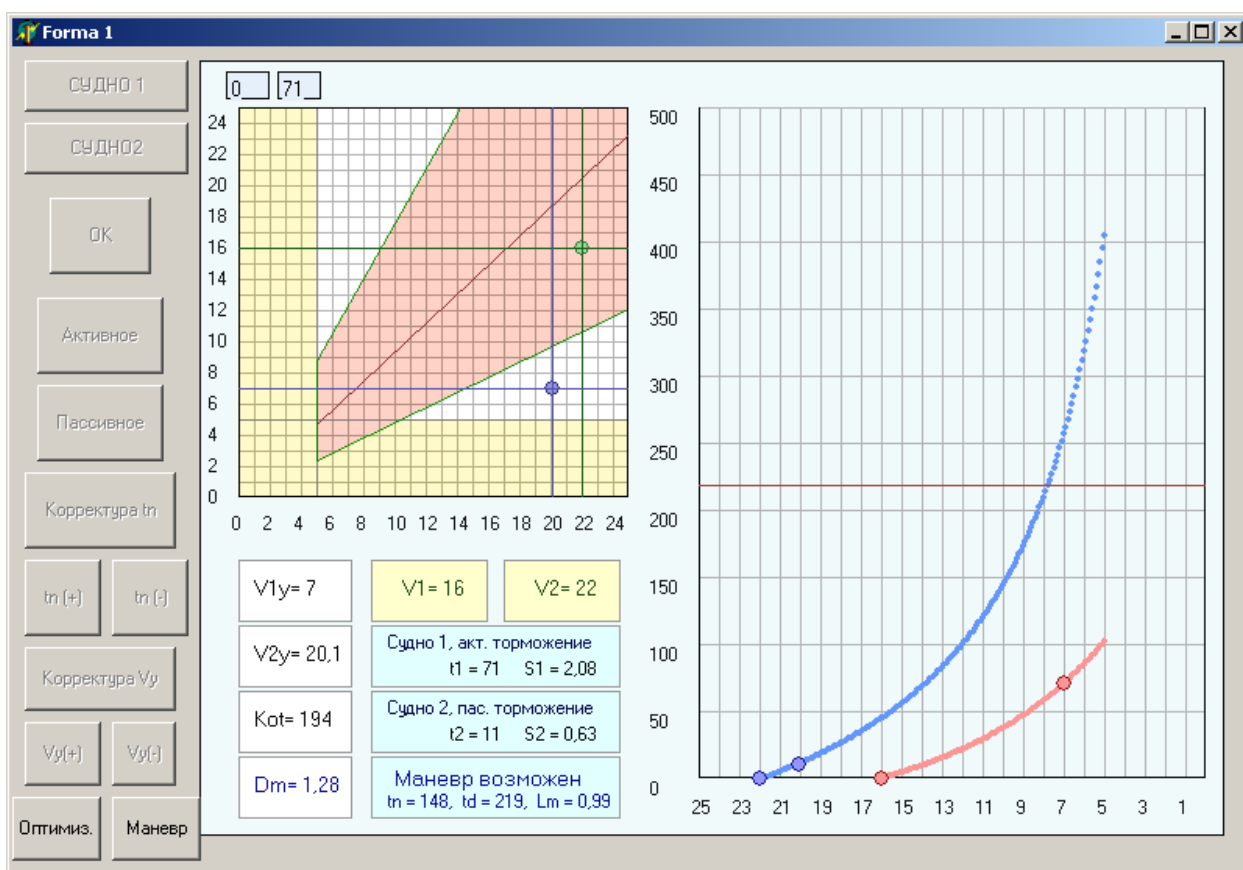
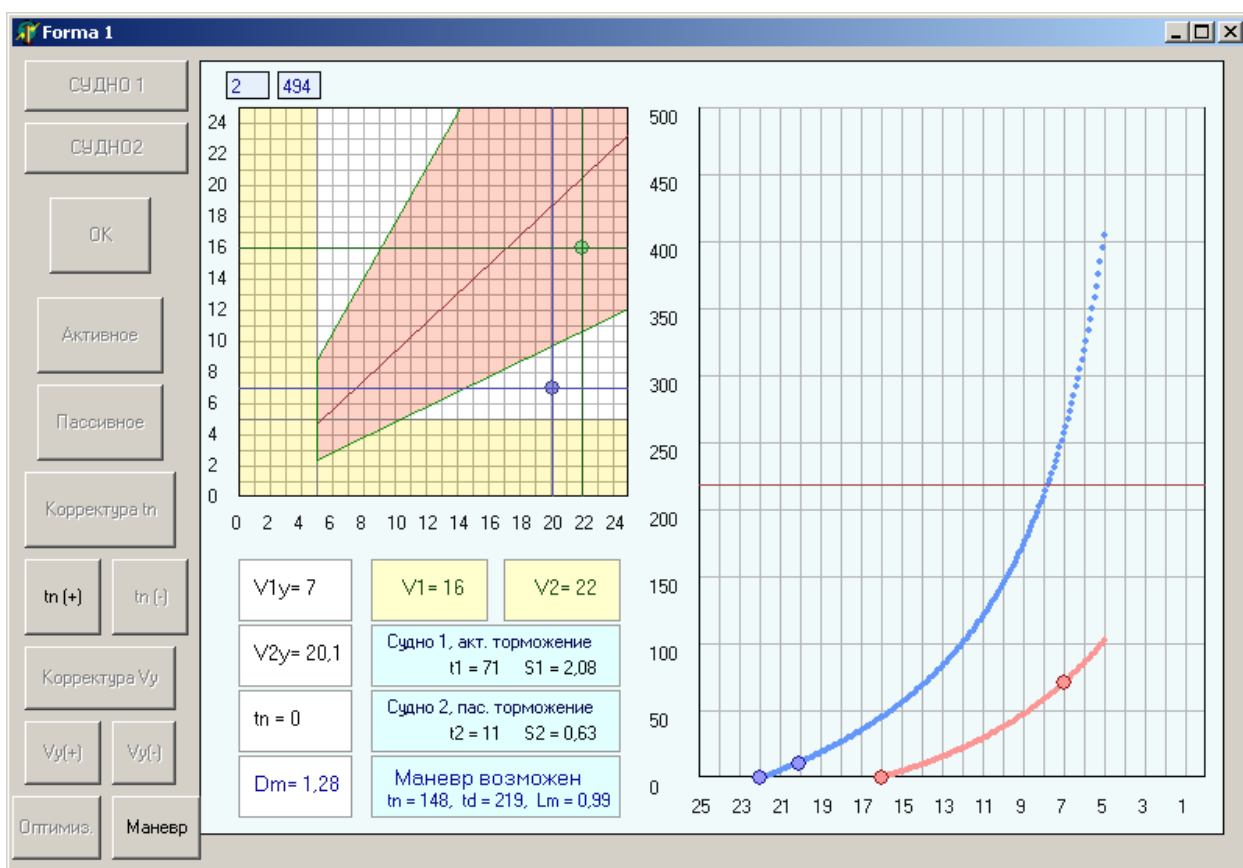
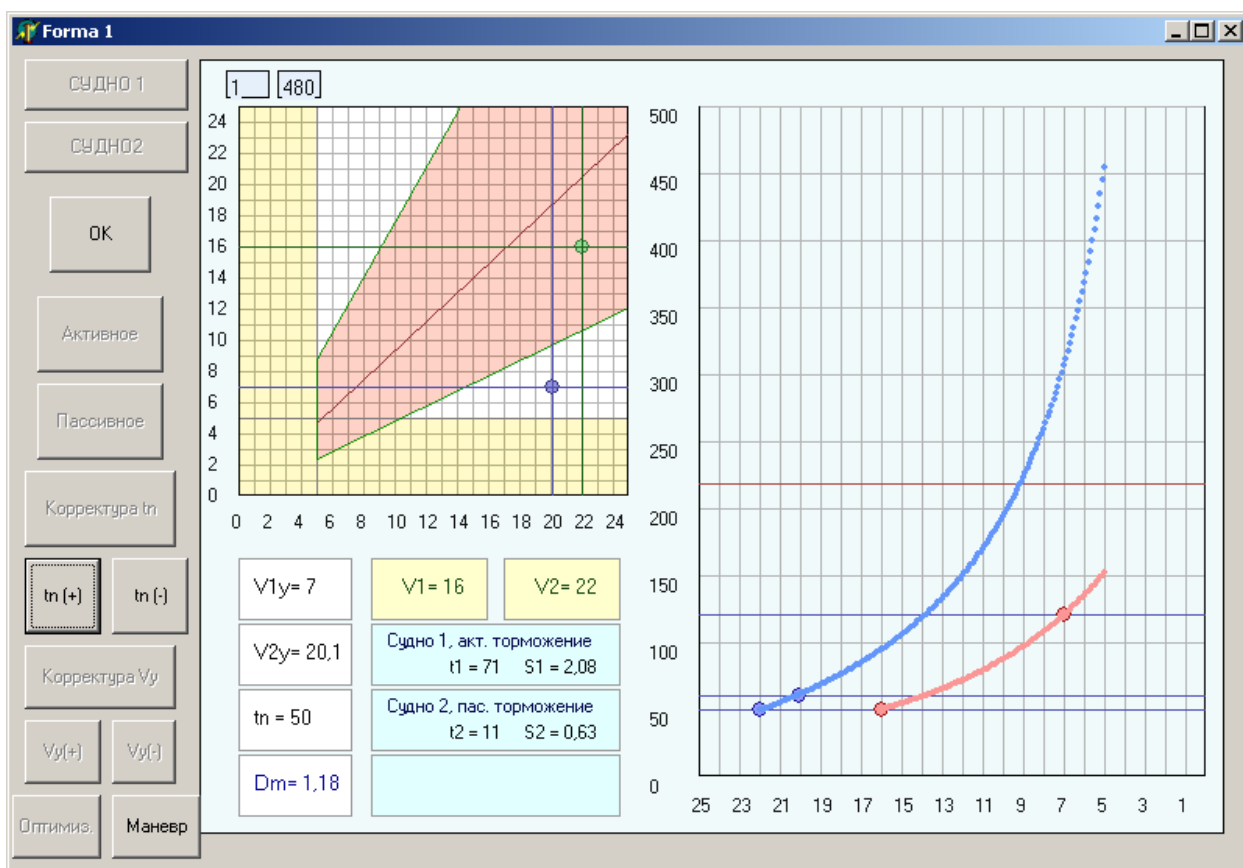


Рис. 4.17. Криві активного і пасивного гальмування суден

Рис. 4.18. Стан процессу розходження гальмуванням при $t_n = 0$ сРис. 4.19. Стан процессу розходження гальмуванням при $t_n = 50$ с

вгору по осі часу, а лінія завершення перехідного процесу наближається до лінії часу найкоротшого зближення $t_d = 219$ с.

На рис. 4.20 представлені характеристики маневру розходження при $t_n = 100$ с. При цьому дистанція найкоротшого зближення буде рівна $D_{\min} = 1,09$ милі, а криві активного і пасивного гальмування починаються з відмітки 100 с.

Стан маневру розходження активним і пасивним гальмуванням при $t_n = 148$ с показаний на рис. 4.21. Цей момент часу початку процесу гальмування обох суден визначає оптимальний маневр розходження, при якому дистанція найкоротшого зближення рівна $D_{\min} = 0,99$ милі. В даному випадку горизонтальні лінії закінчення перехідного процесу і моменту часу найкоротшого зближення співпадають.

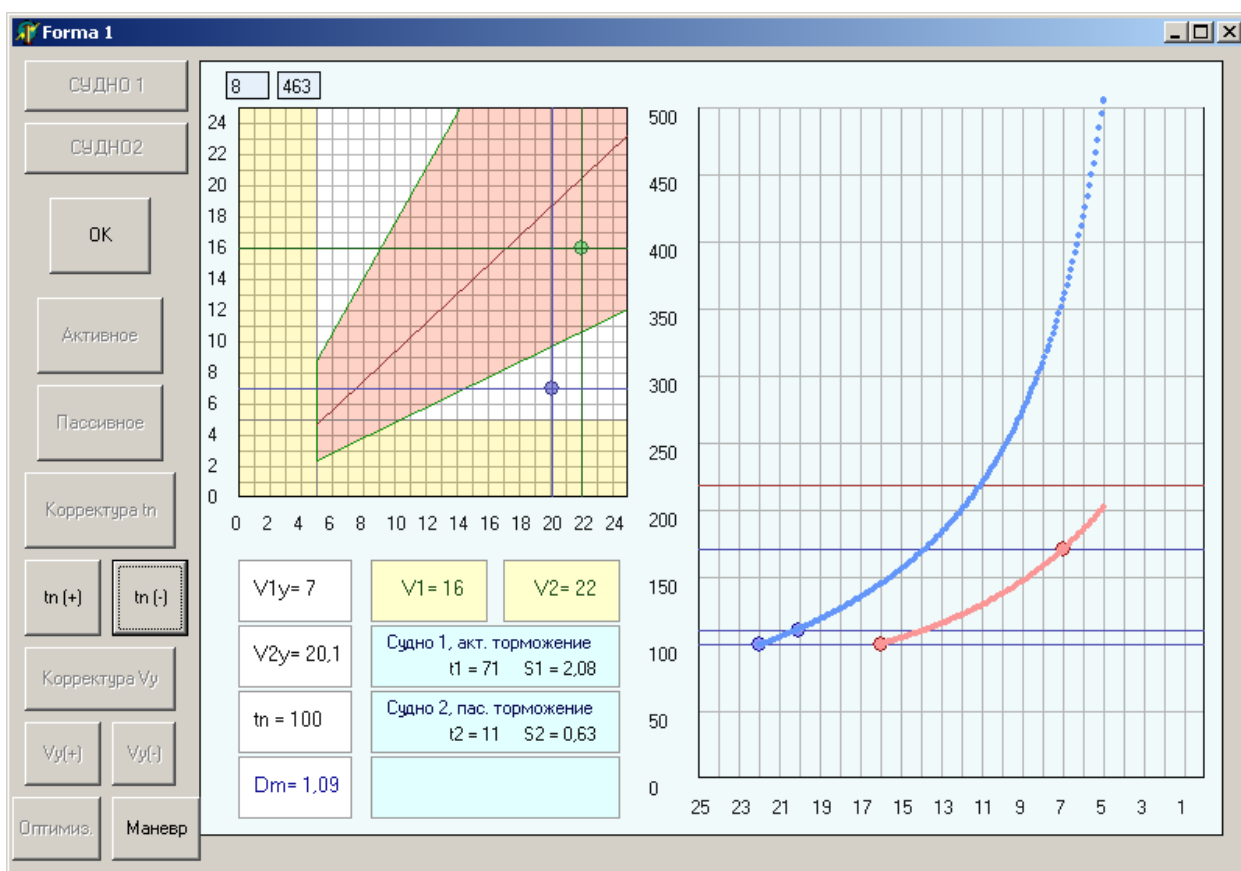


Рис. 4.20. Стан процесу розходження гальмуванням при $t_n = 100$ с

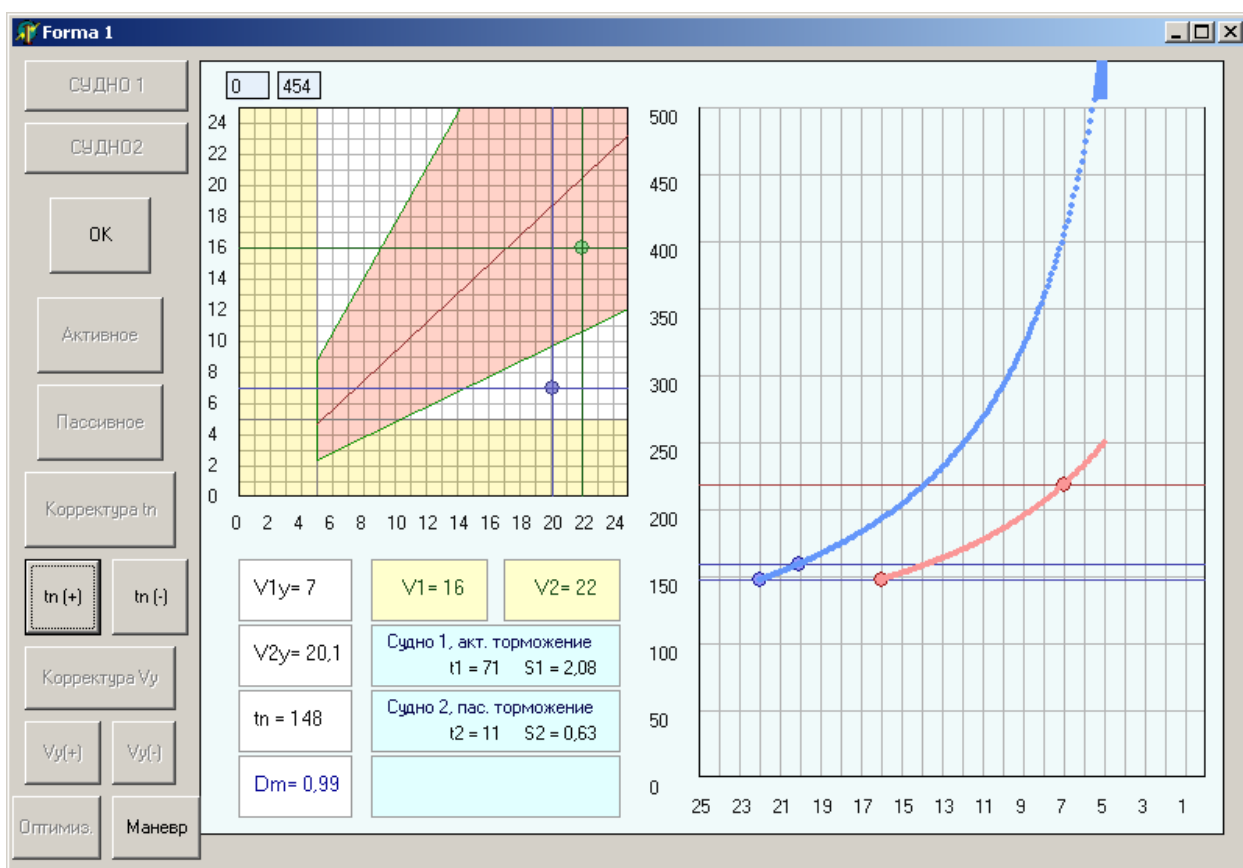
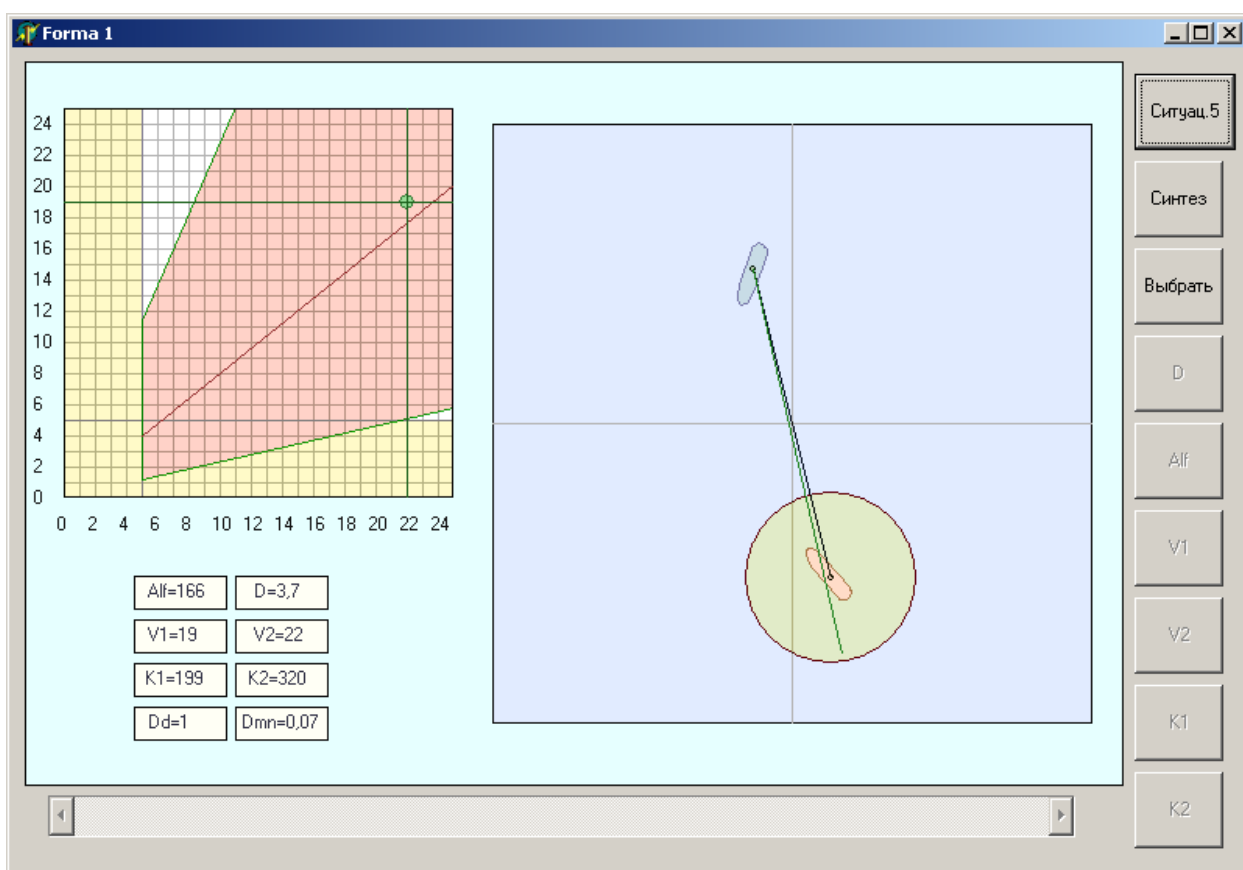
Рис. 4.21. Стан процесу розходження гальмуванням при $t_n = 148$ с

Рис. 4.22. Відображення четвертої ситуації небезпечного зближення

Четверта ситуація небезпечного зближення показана на рис. 4.22. Її характеризують наступні параметри: $\alpha_0 = 166^\circ$, $D_0 = 3,7$ милі, $K_1 = 139^\circ$, $K_2 = 320^\circ$, $V_1 = 19$ вуз., $V_2 = 22$ вуз., $D_d = 1$ миля.

Для безпечного розходження суден зміною швидкості вибрана точка швидкостей розходження, причому $V_{1y} = 17,0$ вуз. і $V_{2y} = 6,0$ вуз., як показано на рис. 4.23. При даних швидкостях відносний курс дорівнює 185° . З цього ж рисунку виходить, що для маневру розходження першим судном вибране пасивне гальмування, а другим судном - активне гальмування.

Стан маневру розходження активним і пасивним гальмуванням у випадку $t_n = 0$ с відображений на рис. 4.24. Як видно з рисунка в цьому випадку судна розійдуться на дистанції найкоротшого зближення $D_{\min} = 1,06$ милі у момент часу найкоротшого зближення $t_d = 129$ с.

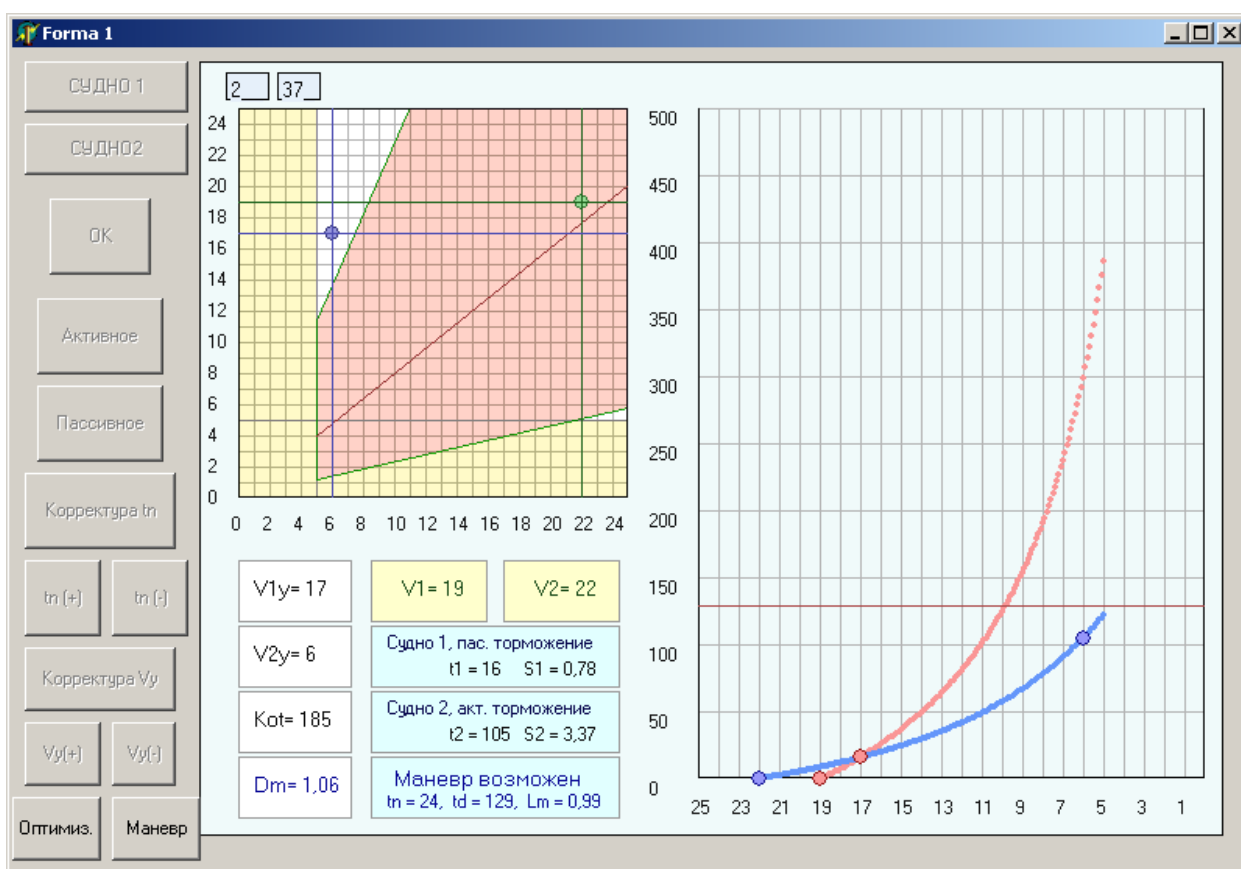
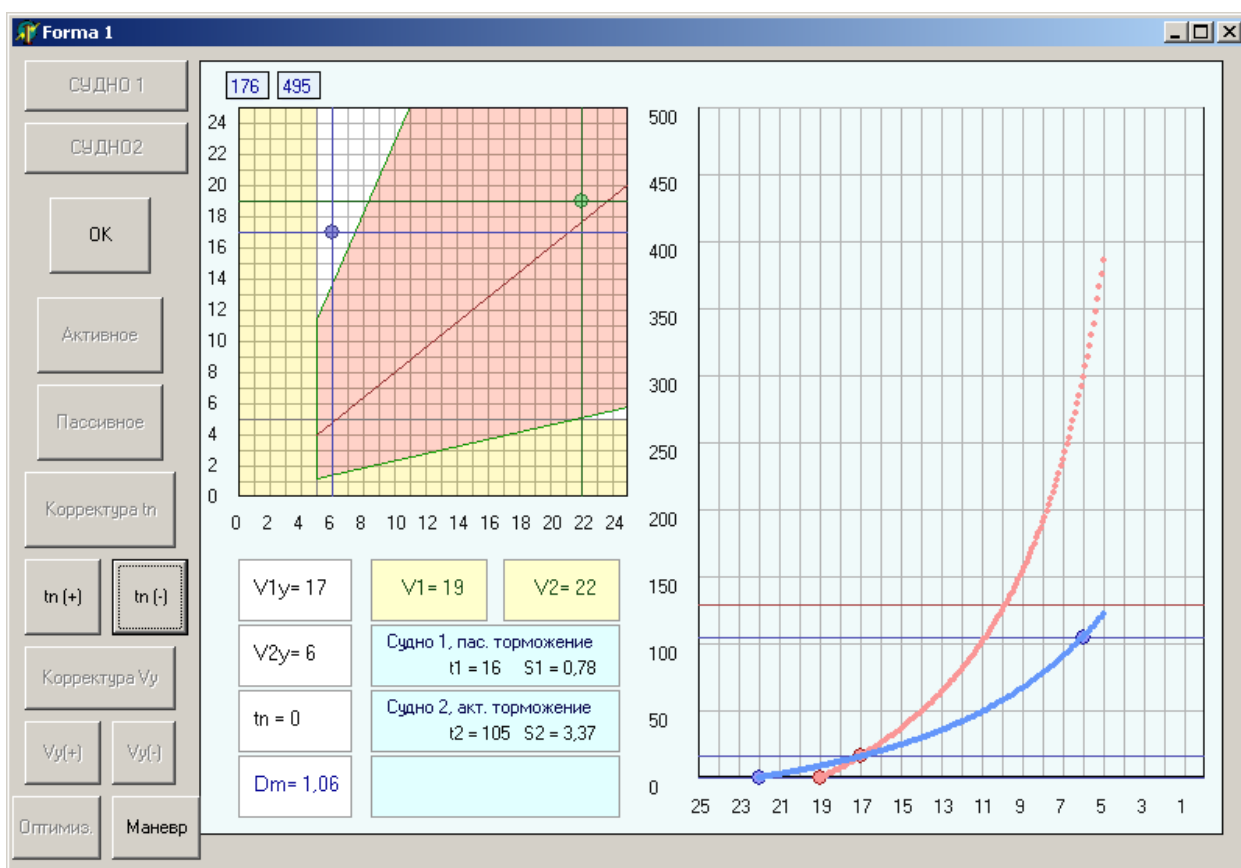
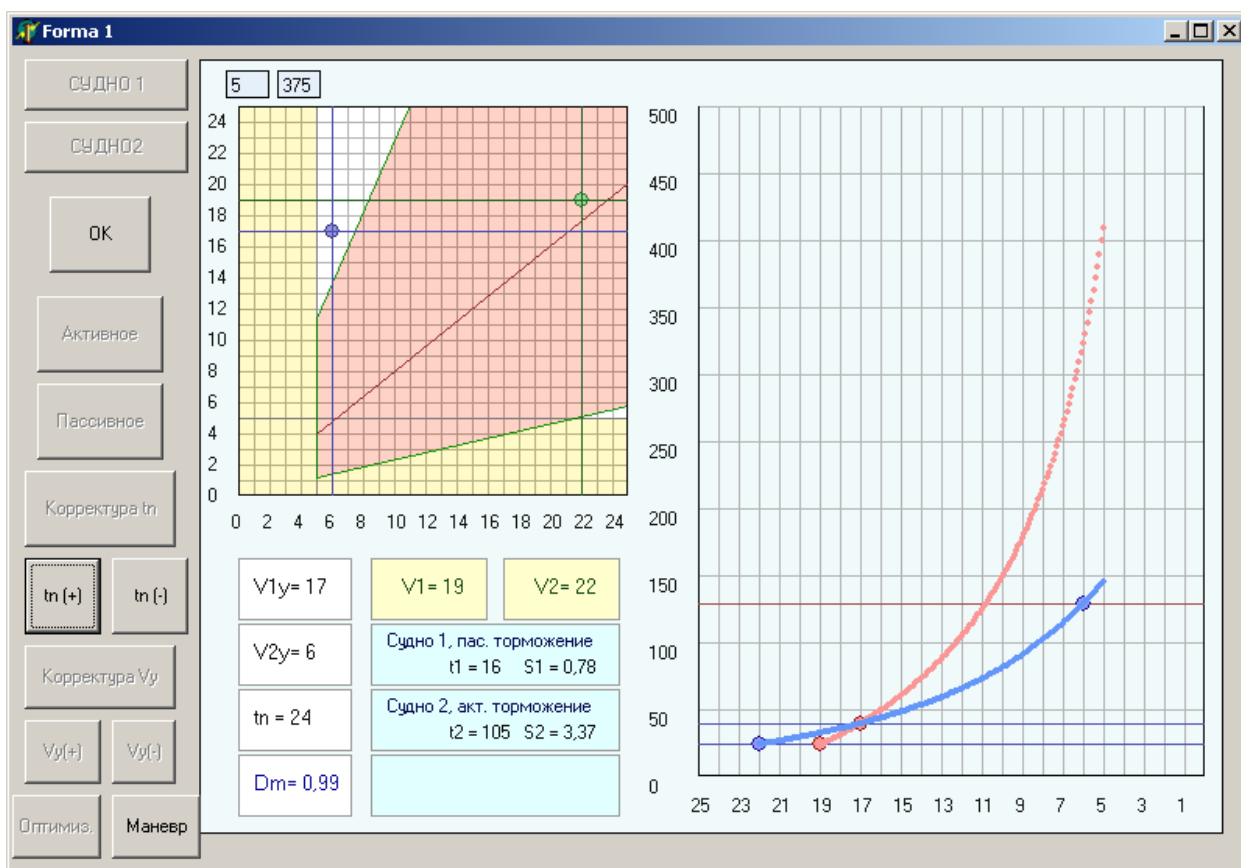


Рис. 4.23. Криві активного і пасивного гальмування суден

Рис. 4.24. Стан процессу розходження гальмуванням при $t_n = 0$ сРис. 4.25. Стан процессу розходження гальмуванням при $t_n = 24$ с

На рис. 4.25 показано стан маневру розходження активним і пасивним гальмуванням при $t_n = 24$ с. Цей момент часу початку процесу гальмування суден пасивним і активним гальмуванням є оптимальним маневром розходження, при якому дистанція найкоротшого зближення становить $D_{\min} = 0,99$ милі. В даному випадку горизонтальна лінія закінчення перехідного процесу співпадає з горизонтальною лінією моменту часу найкоротшого зближення $t_d = 129$ с.

Таким чином, за допомогою процедури комп'ютерного графічного визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей, задаючись режимами гальмування кожного з суден, що небезпечно зближуються, можна визначити можливість виконання вибраного маневру, а при позитивному висновку вибрати оптимальний маневр або маневр максимально близький до оптимального, що було показане чотирма ситуаціями небезпечного зближення і вибраними оптимальними маневрами розходження різними поєднаннями режимів гальмування суден.

4.5. Висновки за четвертим розділом.

Розділ присвячений питанням вибору оптимального маневру розходження зміною швидкостей суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик в різних режимах гальмування.

Показано, що, виходячи з початкової ситуації небезпечного зближення суден, за допомогою області їх небезпечних швидкостей визначається існування множини безпечних маневрів розходження суден зміною швидкостей з урахуванням їх інерційності в режимах активного і пасивного гальмування. Для вирішення вказаної задачі в розділі розглянуто аналітичний опис режимів активного і пасивного гальмування судна. Одержані вирази для розрахунку тривалості перехідного процесу активного і пасивного

гальмування, пройденої при цьому відстані і залежність швидкості гальмування від часу.

У разі існування множини безпечних маневрів розходження суден зміною швидкостей в розділі запропонована процедура визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей аналітичним способом, яка дозволяє розрахувати момент часу початку гальмування суден, при якому дистанція найкоротшого зближення рівна граничній-допустимій дистанції зближення. В розділі також показано, що як критерій оптимальності є втрати часу для виконання маневру розходження, які зменшується при досягненні дистанції найкоротшого зближення значення граничної-допустимої дистанції зближення. Одержано вирази для розрахунку оптимального значення моменту часу початку гальмування суден при використанні суднами різних варіантів режимів гальмування: обидва судна знижують швидкість активним гальмуванням, відбувається маневр розходження пасивним гальмуванням суден і одне з суден використовує активне гальмування, а друге – пасивне гальмування.

У роботі запропонована процедура комп'ютерного графічного визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей суден. Для перевірки коректності запропонованої процедури приведені приклади визначення оптимального маневру розходження зміною швидкостей суден, що небезпечно зближуються, різними режимами гальмування.

РОЗДІЛ 5.

ПЕРЕВІРКА КОРЕКТНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ІМІТАЦІЙНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ.

5.1. Опис комп'ютерної імітаційної програми вибору маневру розходження суден зміною їх швидкостей з урахуванням інерційно-гальмівних характеристик.

Теоретичні результати дисертаційної роботи, на базі яких можлива розробка методу вибору оптимального маневру розходження суден зміною їх швидкостей при незмінних курсах за допомогою області небезпечних швидкостей, реалізовані комп'ютерною програмою, яка може бути використана у вигляді окремого модуля при розробці інформаційної системи зовнішнього управління процесом розходження суден.

Розроблена комп'ютерна імітаційна програма також містить окремий модуль, за допомогою якого можна здійснити моделювання процесу розходження суден з одержаними параметрами маневру зміною швидкостей, внаслідок чого можна оцінити коректність запропонованого способу вибору безпечного маневру розходження суден. Спочатку розглянемо спосіб вибору маневру безпечного розходження за допомогою інформаційної системи, яка реалізована в першому модулі комп'ютерної програми імітаційного моделювання. Перш за все необхідно задати початкову ситуацію небезпечного зближення пари суден, чого можна досягти двома способами. По-перше, за допомогою клавіші "Ситуац." (рис. 5.1) можна вибрати одну з десяти стандартних ситуацій небезпечного зближення, параметри яких задані. По-друге, за допомогою клавіші "Синтез" можна використати режим генерації ситуації небезпечного зближення, як показано на рис. 5.2, в результаті вибору режиму генерації ситуації за допомогою клавіші "Синтез" відбувається ініціалізація клавіш вибору параметрів початкової ситуації

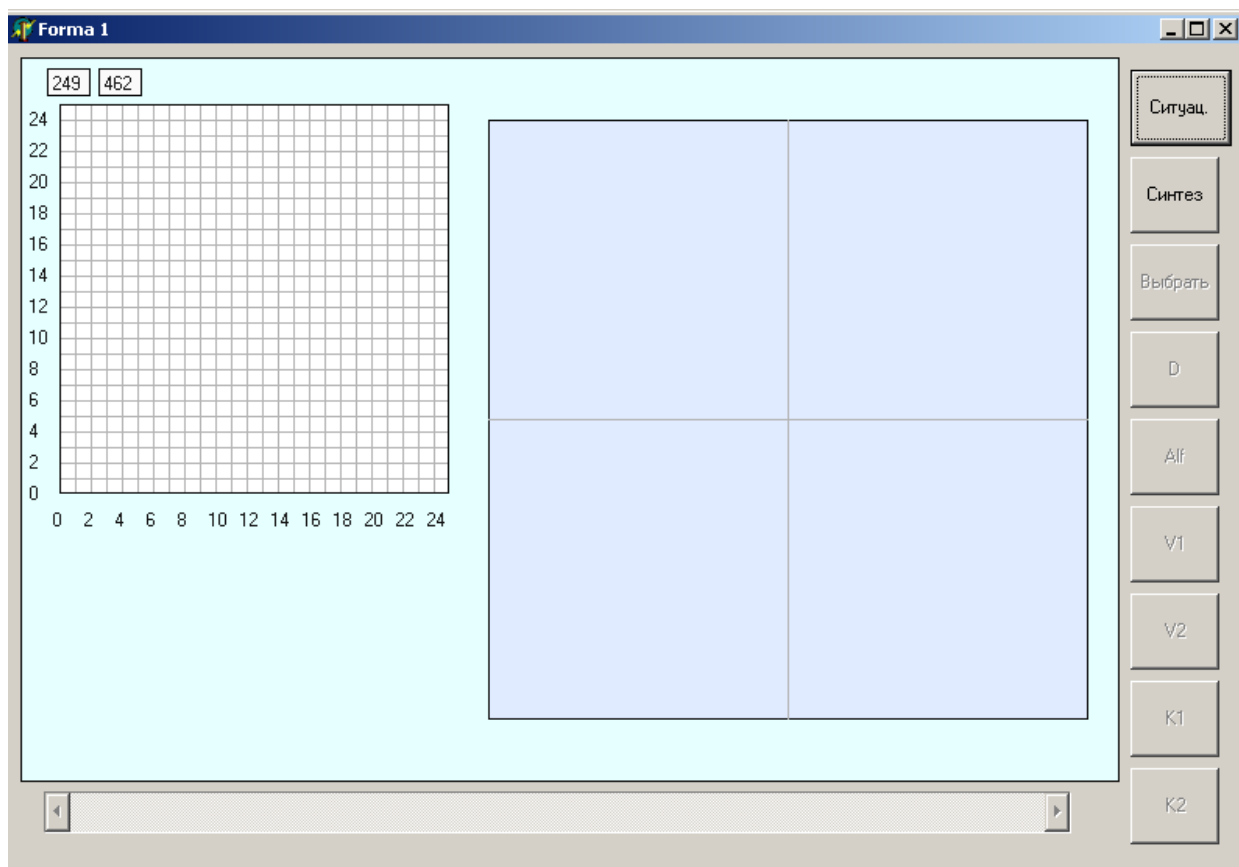


Рис. 5.1. Початковий інтерфейс імітаційної програми

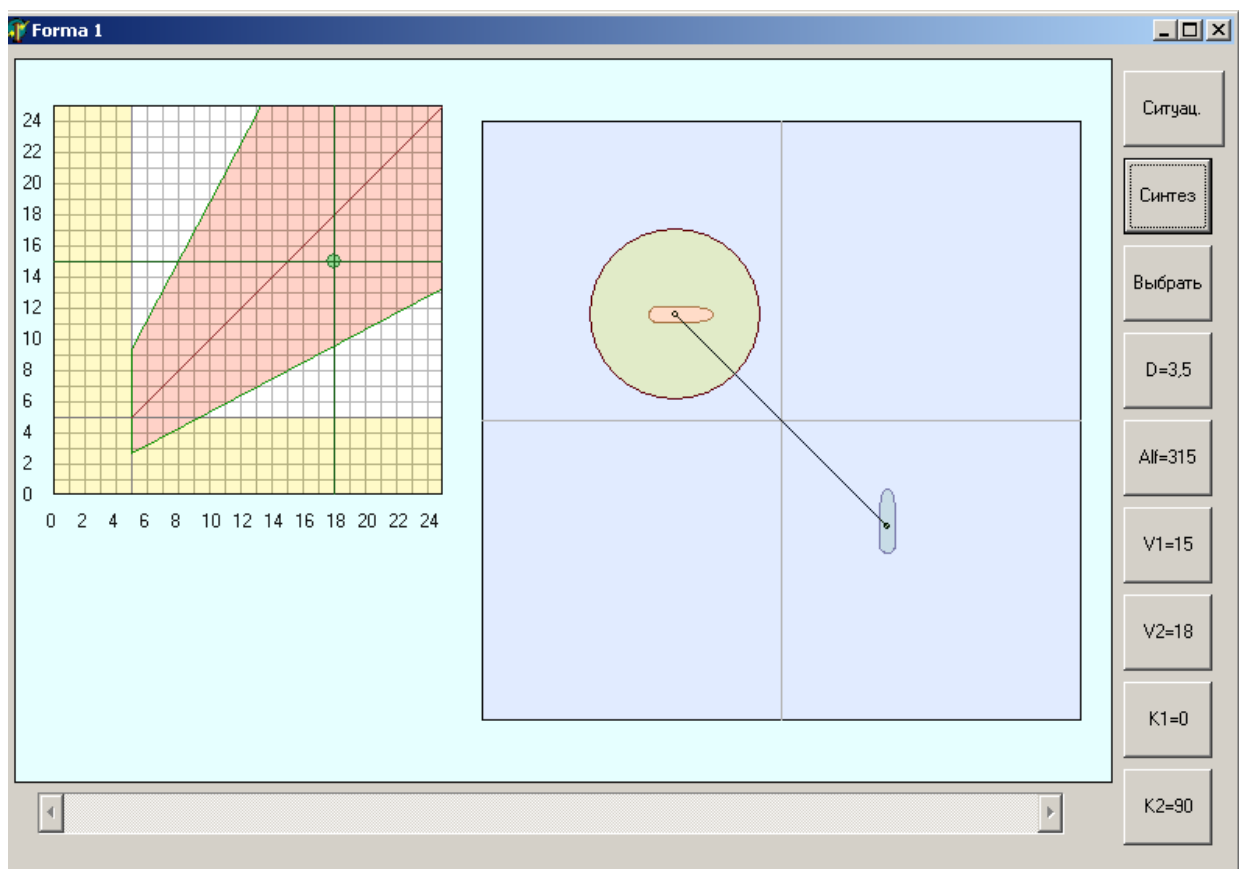


Рис. 5.2. Вибір режиму "Синтез" для формування ситуації зближення

небезпечного зближення, причому на кожній клавіші вказується значення відповідного параметру, а сама ситуація відображається на екрані. У лівій частині екрану монітора виводиться область небезпечних швидкостей суден і положення точки початкових швидкостей суден в ній. На рис. 5.3 показані введення початкових пеленга і дистанції за допомогою клавіш "D" і "Alf", та лінійки прокрутки.

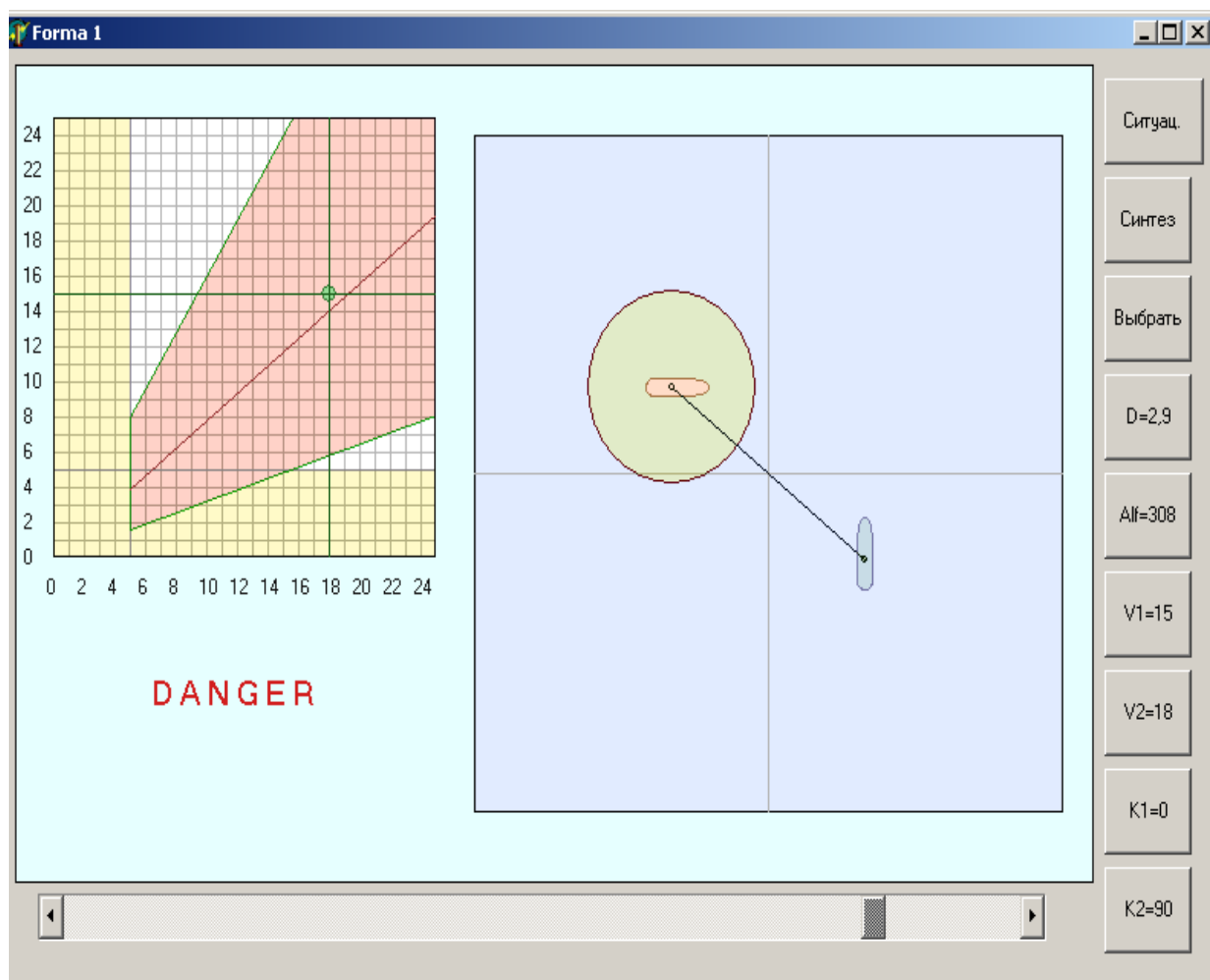


Рис. 5.3. Зміна пеленга і дистанції початкової ситуації

Зміна швидкостей суден при формуванні початкової ситуації небезпечного зближення здійснюється клавішами "V1" і "V2" (рис. 5.4), а зміна їх курсів забезпечується клавішами "K1" і "K2", значення яких вибираються лінійкою прокрутки, як показано на рис. 5.5. При зміні параметрів початкової ситуації небезпечного зближення також відбувається

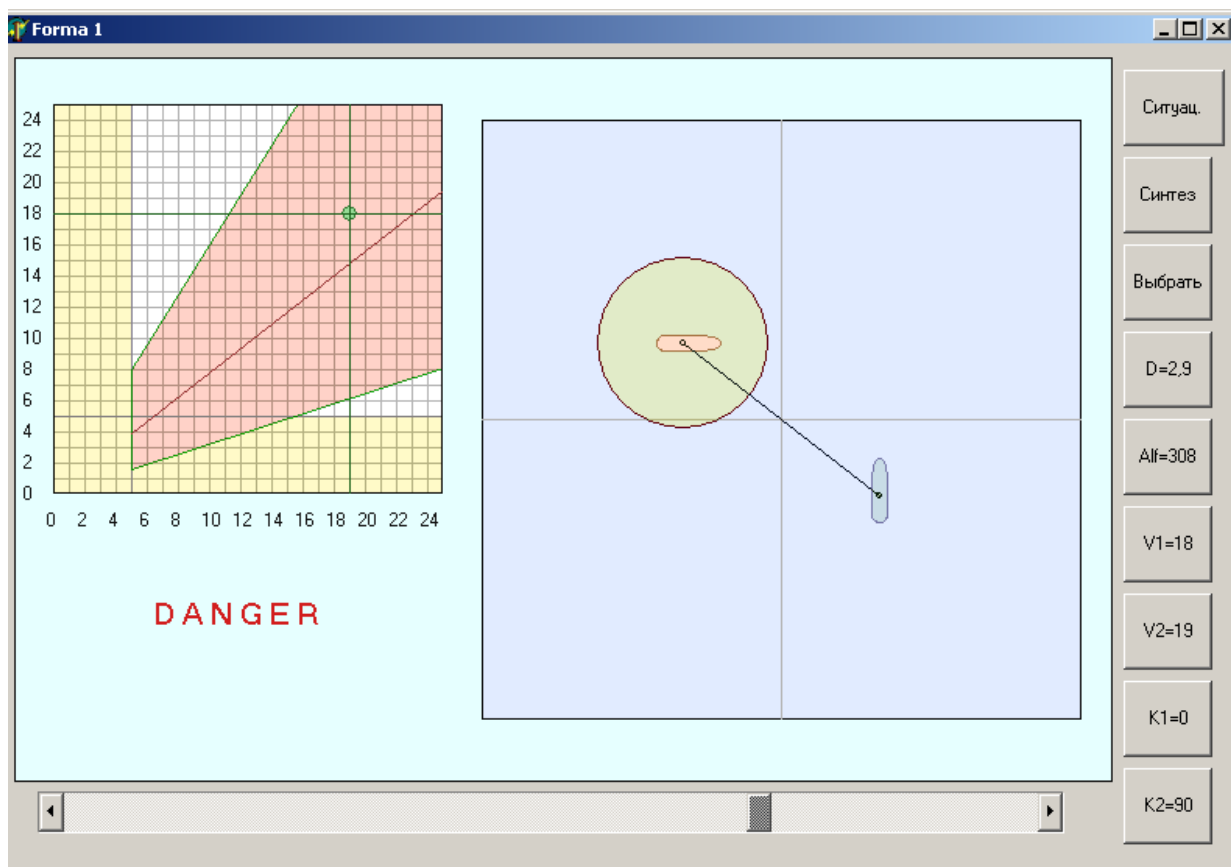


Рис. 5.4. Зміна швидкостей суден початкової ситуації

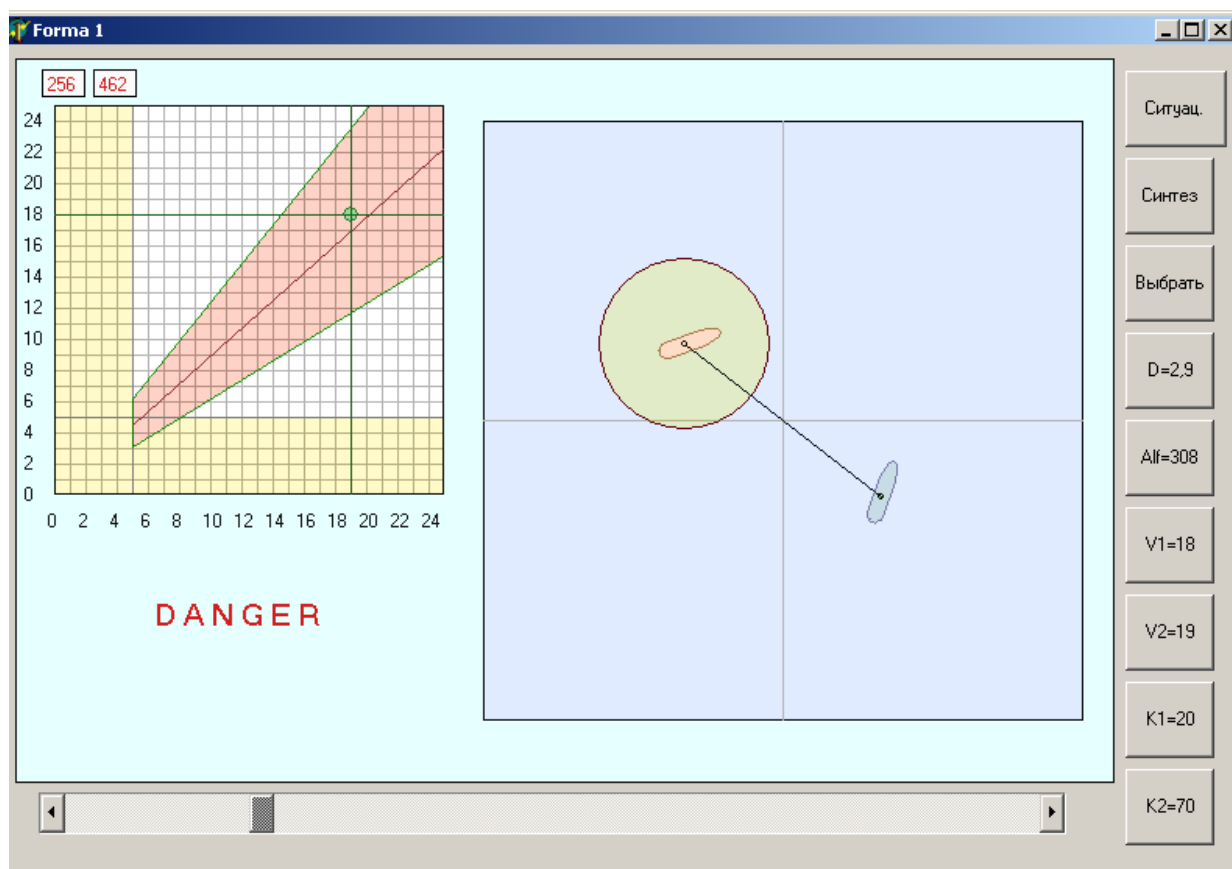


Рис. 5.5. Зміна курсів суден початкової ситуації

трансформація форми області небезпечних швидкостей, а також зміна положення точки початкових швидкостей суден. Після завершення введення параметрів початкової ситуації небезпечного зближення для подальшої роботи необхідно використовувати клавішу "Вибрати", після чого на екран монітору виводиться зображення, показане на рис. 5.6.

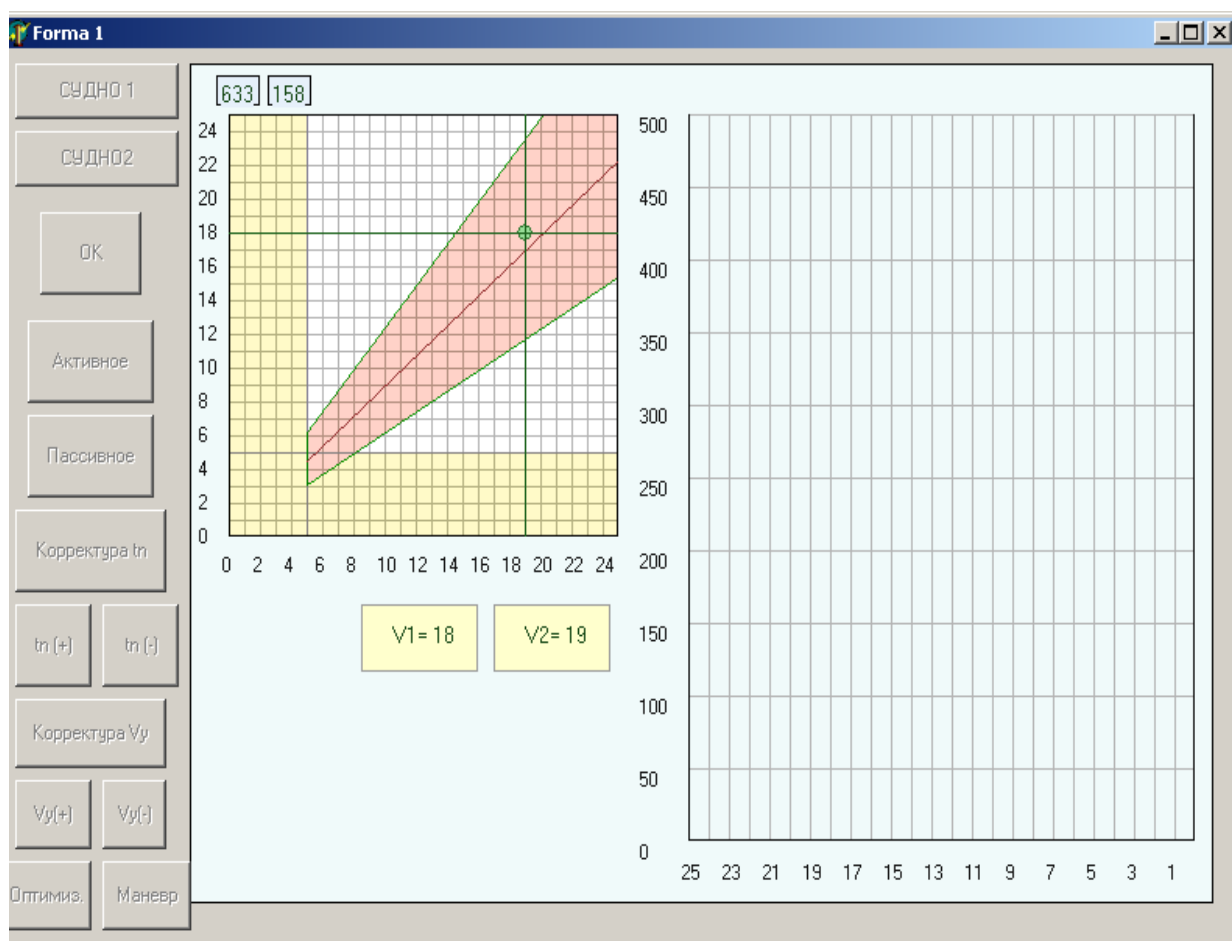


Рис. 5.6. Інтерфейс програми після використання клавіші "Вибрати"

Для вибору швидкостей розходження необхідно в площині швидкостей суден, в якій відображається область небезпечних швидкостей, вибрати точку швидкостей розходження поза областю, помістити в неї курсор і "кликнути" ліву клавішу мишки. Оскільки швидкості розходження менші початкових, то при швидкості розходження вищої початкової виводиться повідомлення (рис. 5.7), а при коректному виборі швидкостей розходження, як показано на рис. 5.8, вибрана крапка відображається кругом, через який проходять прямі

лінії і активізуються клавіші "Судно 1" і "Судно 2", за допомогою яких вибирається режим гальмування суден. Так після "кликання" клавіші "Судно 1", як показано на рис. 5.9, активізуються клавіші "Активне" і "Пасивне", за допомогою яких вибирається бажаний режим гальмування судна.

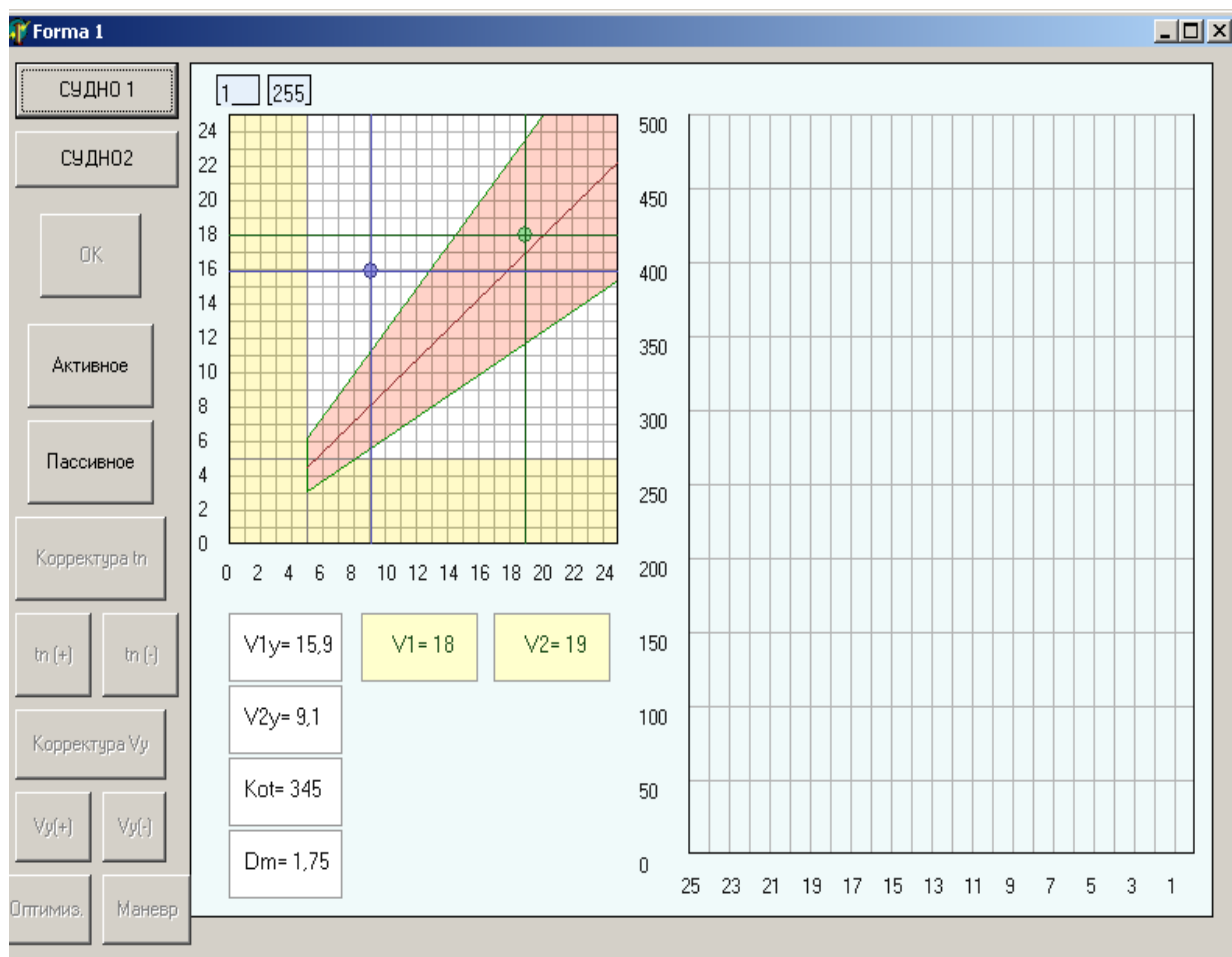


Рис. 5.9. Вибір першого судна для характеристики маневру

У даному прикладі для зниження швидкості першого судна з 18 до 15,9 вузлів вибрано, як видно з рис. 5.10, активне гальмування, про що виводиться відповідне повідомлення. Потім за допомогою клавіші "Судно 2" проводиться вибір режиму гальмування другого судна. У даному прикладі клавішею "Пасивне" для другого судна зниження швидкості з 19 до 9,1 вузлів вибрано пасивне гальмування, про що свідчить повідомлення, що з'явилося, як показано на рис. 5.11. Після вибору режимів гальмування обох суден активізується клавіша "ОК".

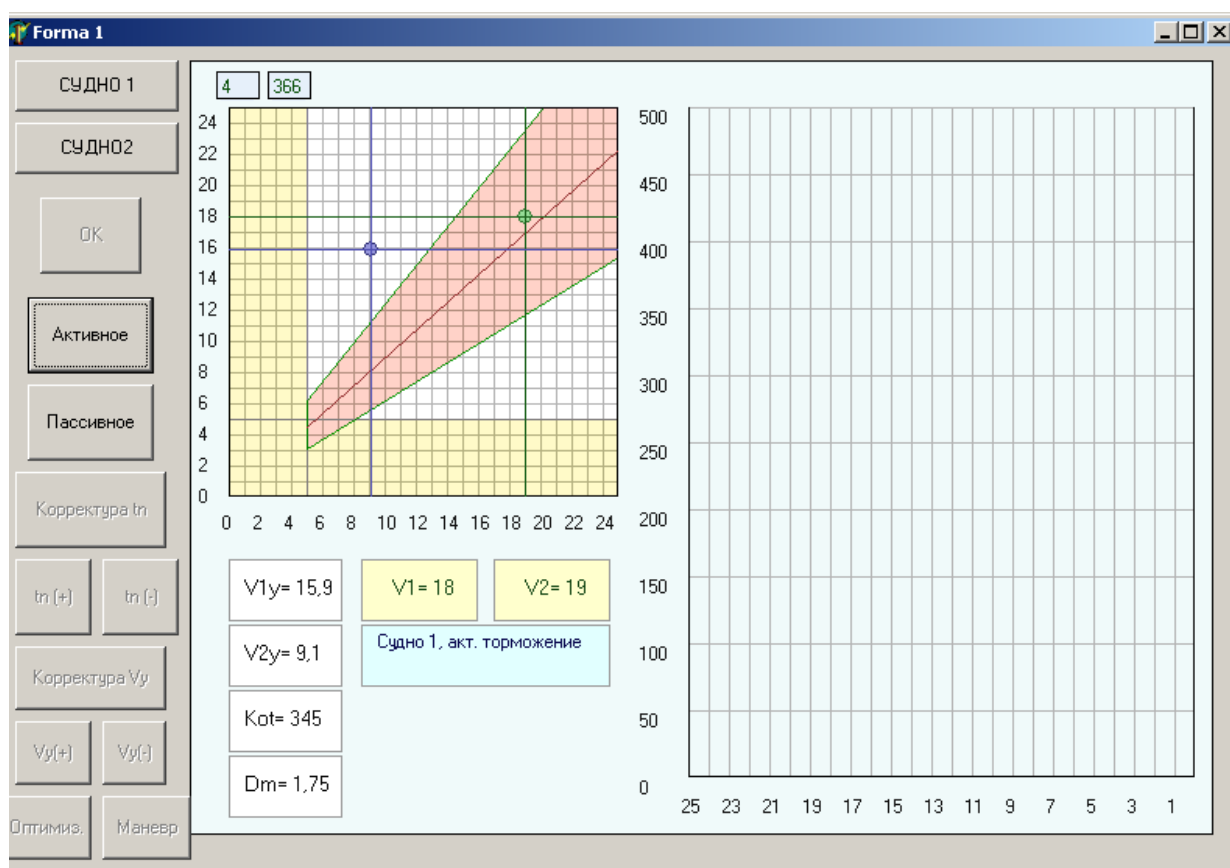


Рис. 5.10. Вибір для першого судна режиму гальмування

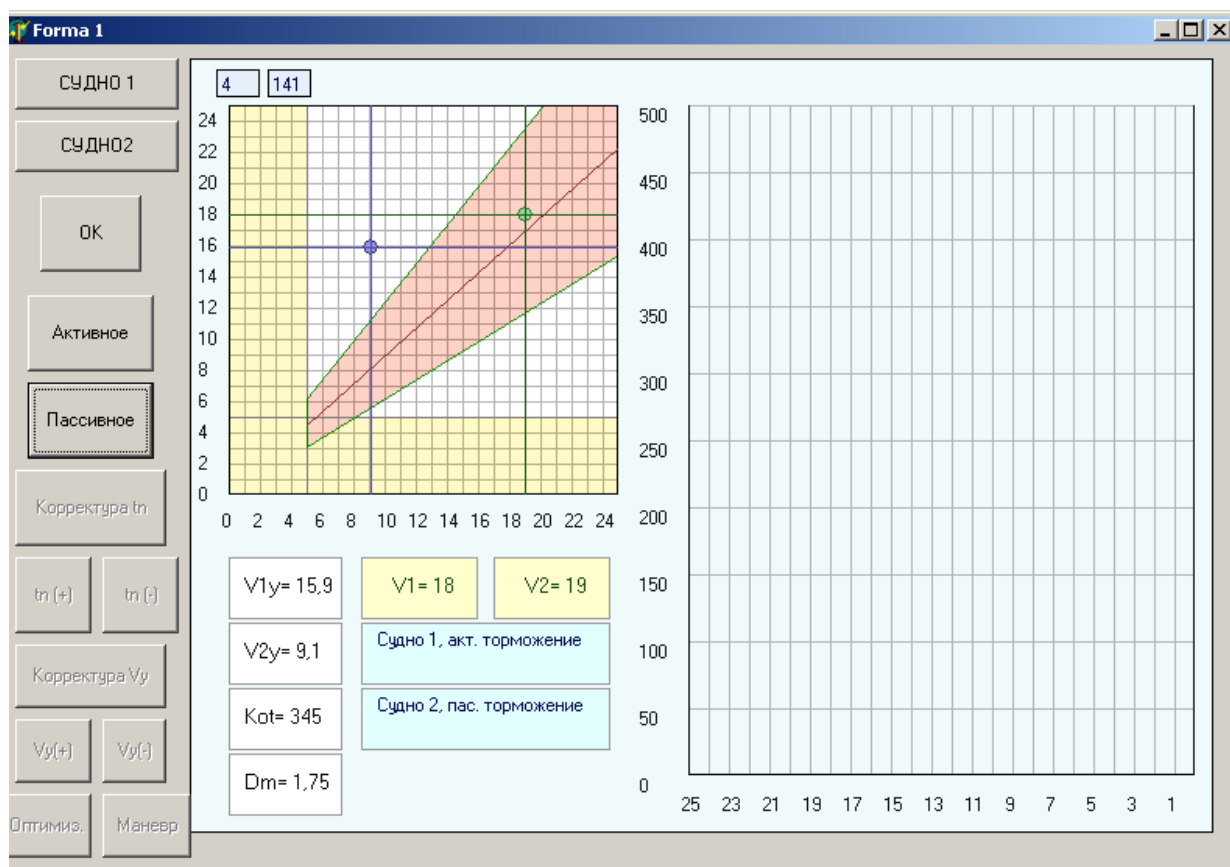


Рис. 5.11. Вибір пасивного гальмування для другого судна

Для подальшої роботи належить "кликнути" клавішу "ОК", після чого програма по одержаним в роботі виразах розраховує момент часу початку гальмування суден, щоб вони розійшлися в дистанції рівної гранично-допустимой. При цьому проводиться розрахунок моменту часу найкоротшого зближення. Для приведенного прикладу, як показано на рис. 5.12, тривалість перехідного процесу активного гальмування першого судна складає $\tau_{1y} = 8$ с, а другого судна пасивним гальмуванням - $\tau_{2y} = 151$ с, при цьому пройдено за цей час відстані $S_1 = 0,38$ кбт. і $S_2 = 5,41$ кбт. Виведено повідомлення про можливість маневру і вказано час початку оптимального маневру $t_n^* = 243$ с, в результаті якого найкоротше зближення $D_{min} = 0,99$ милі, буде досягнуто у момент часу $t_d = 400$ с. Також відбувається активізація клавіші «Оптиміз.».

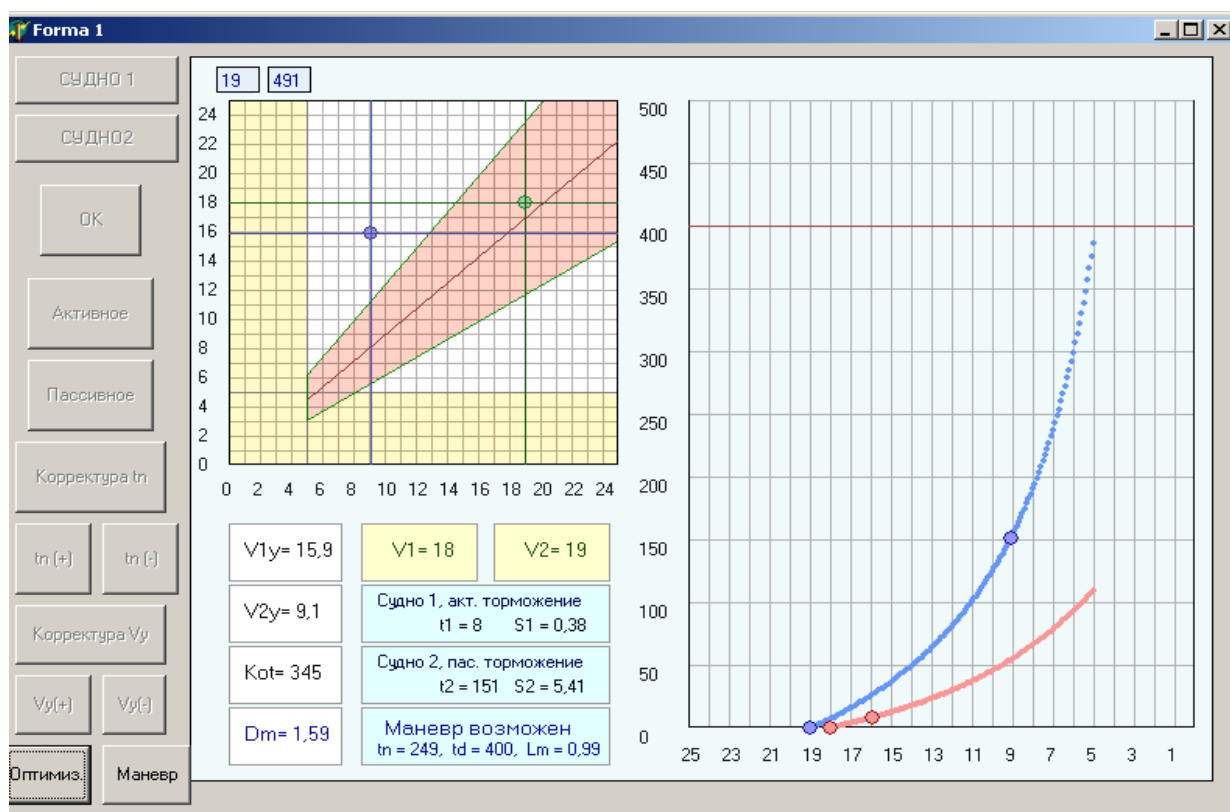


Рис. 5.12. Параметры оптимального маневру разходження

вибір якої, як показано на рис. 5.13, веде до можливості оптимізації маневру розходження двома альтернативними способами: оптимізація моменту часу початку гальмування суден t_n при заданих значеннях швидкостей V_{1y} і V_{2y} .

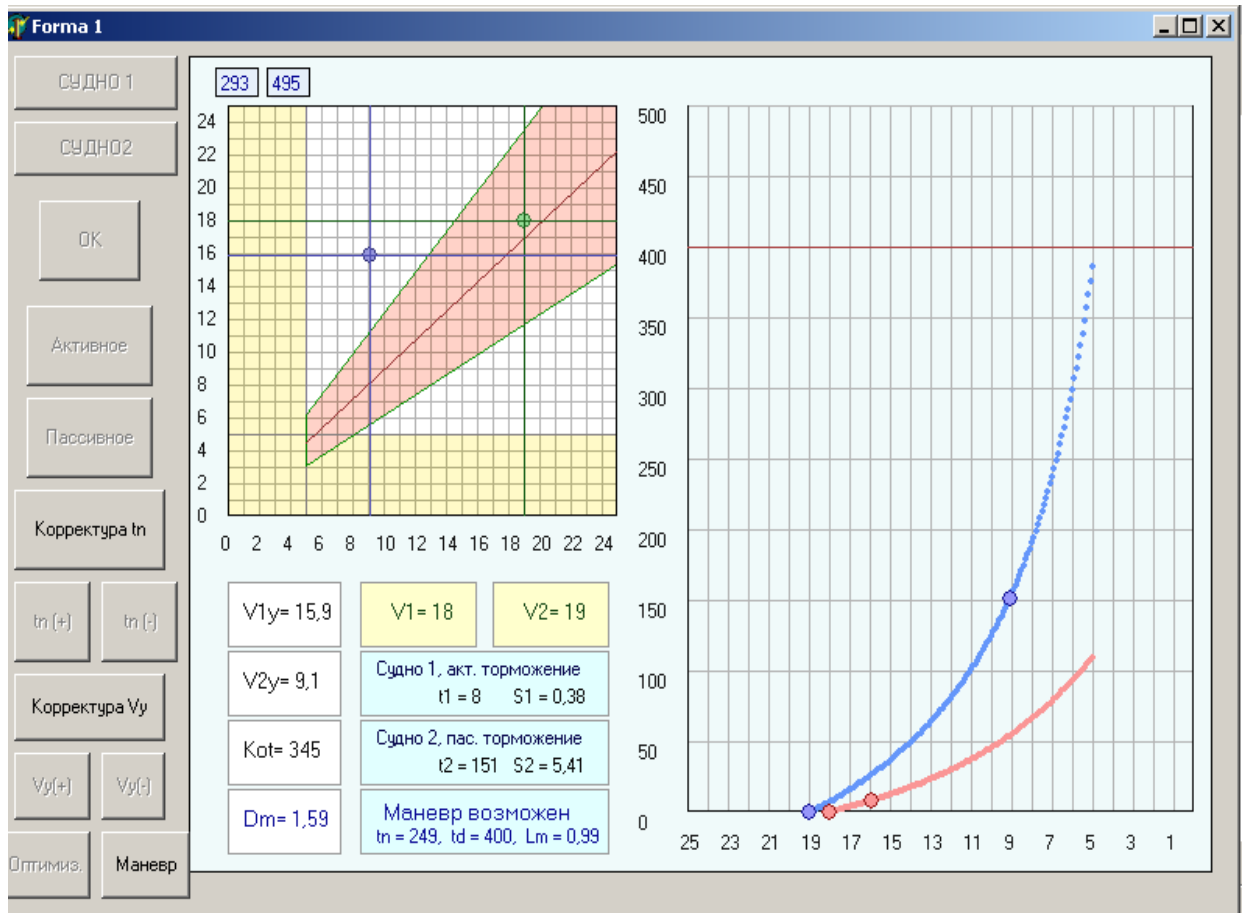


Рис. 5.13. Альтернативні способи оптимізації маневру розходження

Для цього слід вибрати клавішу «Коректура t_n », що активізувалася. Другий спосіб передбачає гальмування суден в початковий момент часу, а оптимізація проводиться вибором швидкостей ухилення V_{1y} і V_{2y} . Цей режим оптимізації вибирається клавішею «Коректура V_y ». На рис. 5.14 показано вибір оптимізації маневру першим способом, тобто «кликнули» по клавіші «Коректура t_n », після чого активізувалася клавіша « $t_n(+)$ », за допомогою якої імітується збільшення значення часу початку маневру t_n . При кожному натисканні цієї клавіші значення t_n збільшується на 1 с, виводиться значення прогнозованої дистанції зближення і, як показано на рис. 5.15, зміщуються криві гальмування обох суден вгору по осі часу. Так на рис. 5.15 введено значення $t_n=200$ с і цьому моменту часу відповідають положення початку кривих гальмування суден.

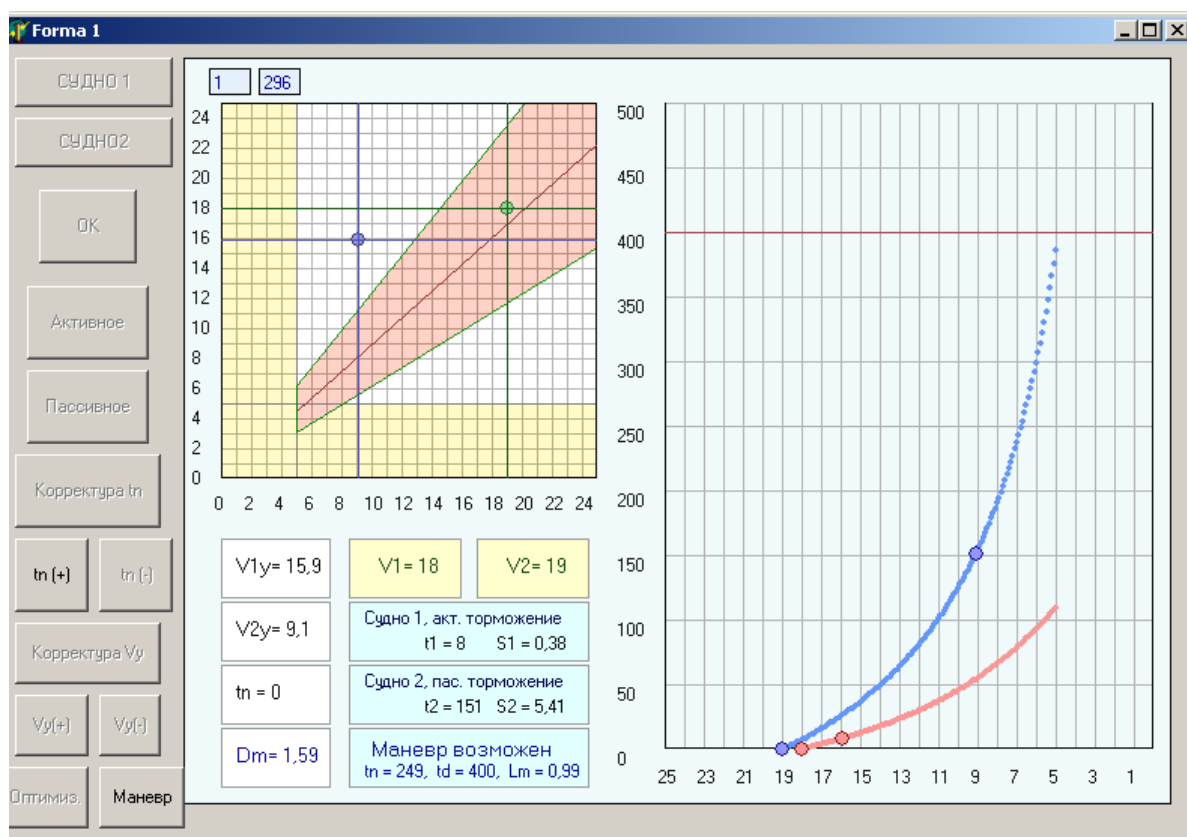
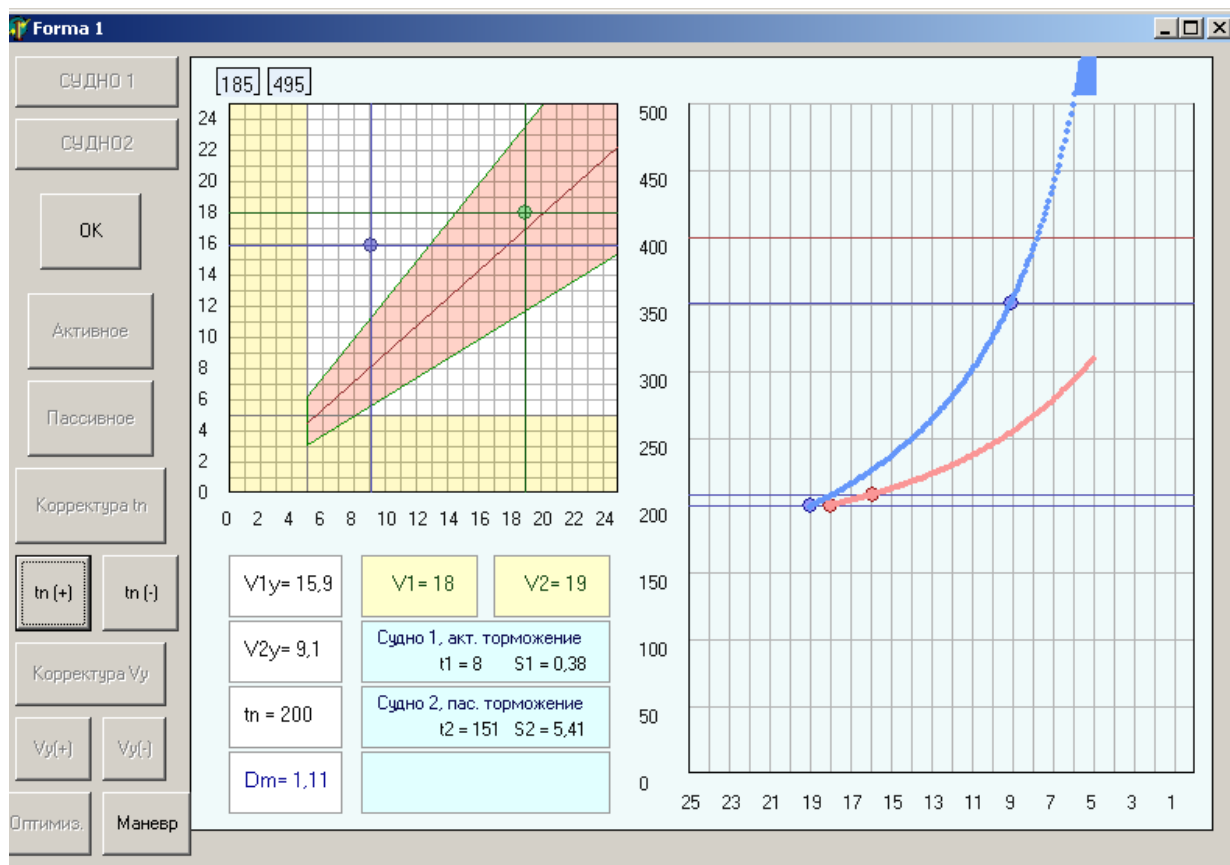


Рис. 5.14. Вибір оптимізації маневру першим способом

Рис. 5.15. Характеристики процесу розходження при $t_n=200$ с

На рис. 5.16 показані характеристики оптимального процесу розходження, який досягається при значенні моменту часу початку гальмування суден $t_n=249$ с.

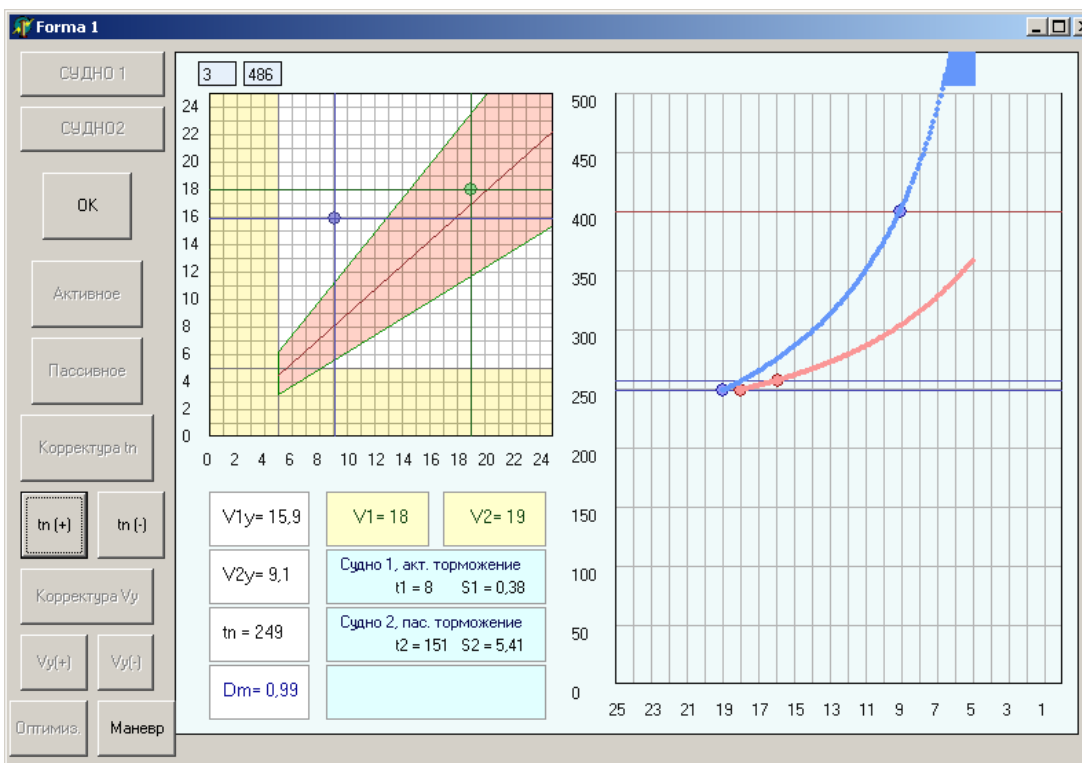


Рис. 5.16. Оптимальний процес розходження при $t_n=249$ с

Як раніше вказувалося, введення початкової ситуації небезпечного зближення суден можливе за допомогою клавіші "Ситуац.". Цією клавішею можливий вибір десяти ситуацій небезпечного зближення з наперед заданими параметрами. Якщо "кликнути" клавішу "Ситуац." (рис. 5.17), то на екран виводиться графічне зображення першої ситуації небезпечного зближення, відповідна їй область небезпечні швидкостей, як показано на рис. 5.18, а також значення параметрів ситуації. Повторне "кликанє" клавішею "Ситуац." викликає появу чергових стандартних ситуацій. Для прикладу на рис. 5.19 представлені характеристики п'ятої ситуації небезпечного зближення суден, а десята ситуація небезпечного зближення і її характеристики представлені на рис. 5.20.

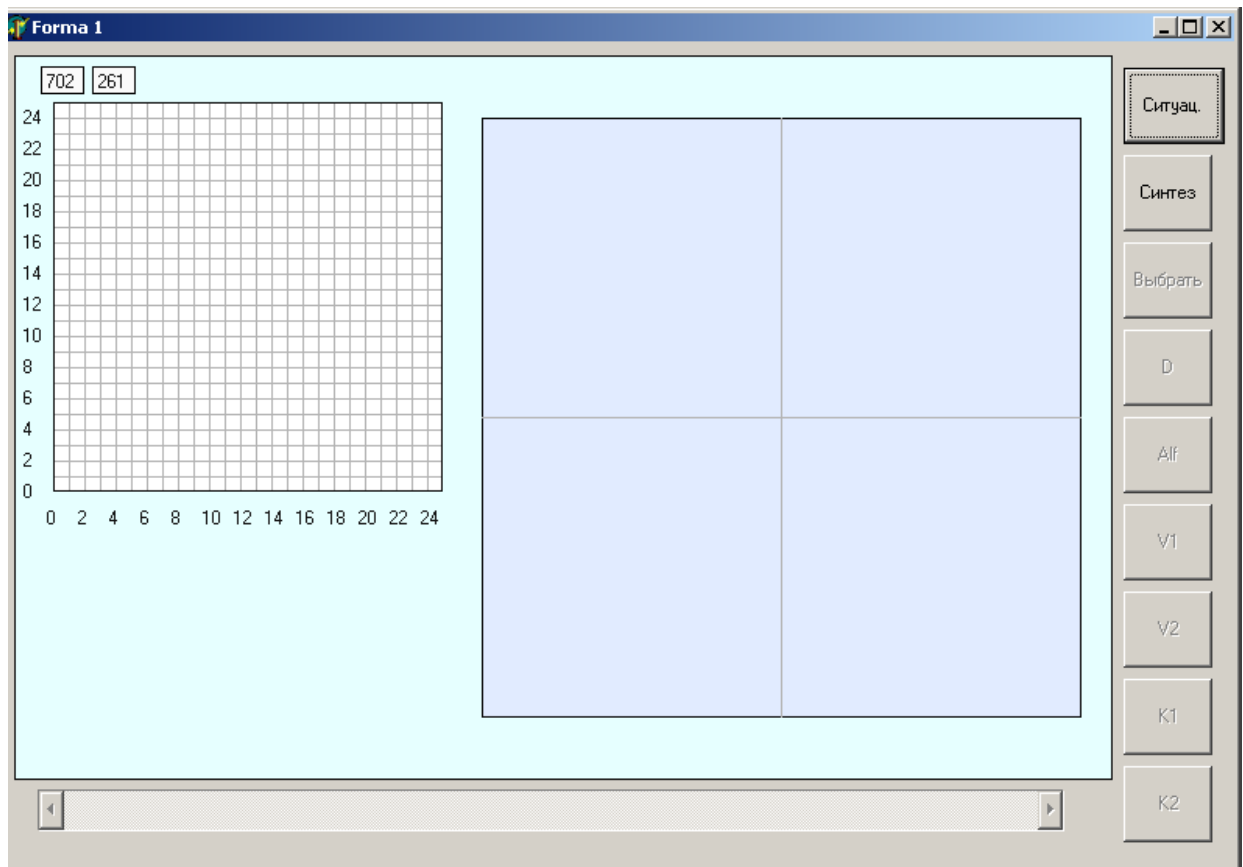


Рис. 5.17. Вибір стандартних ситуацій небезпечного зближення

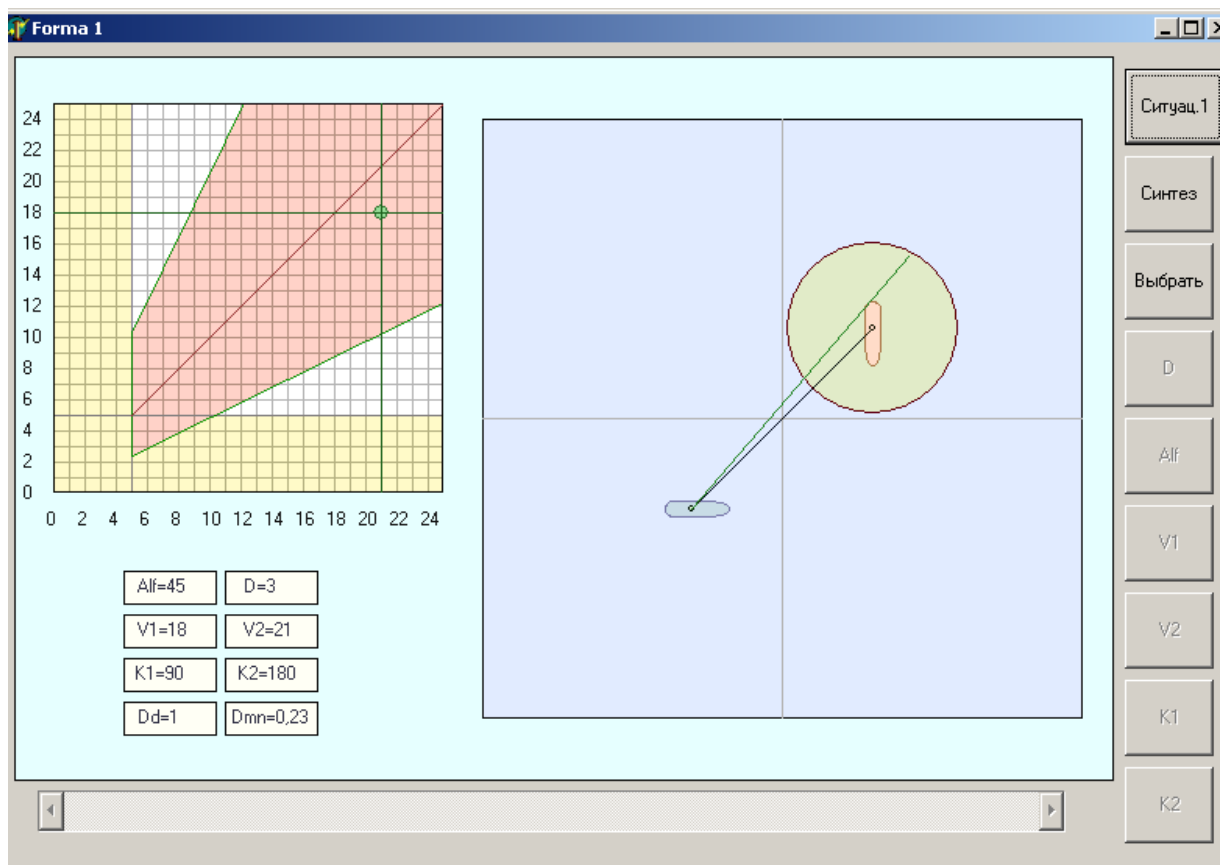


Рис. 5.18. Вибір першої ситуації небезпечного зближення

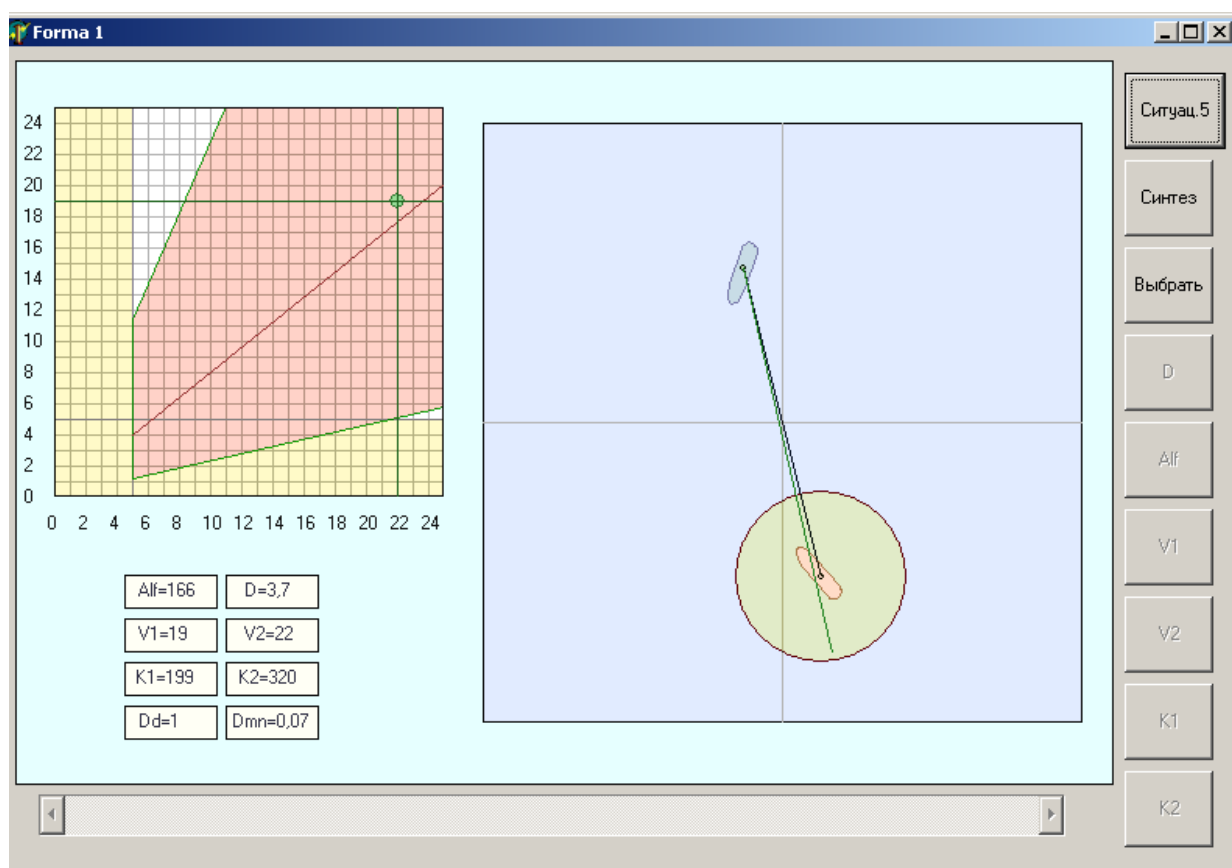


Рис. 5.19. Параметри п'ятої ситуації небезпечного зближення

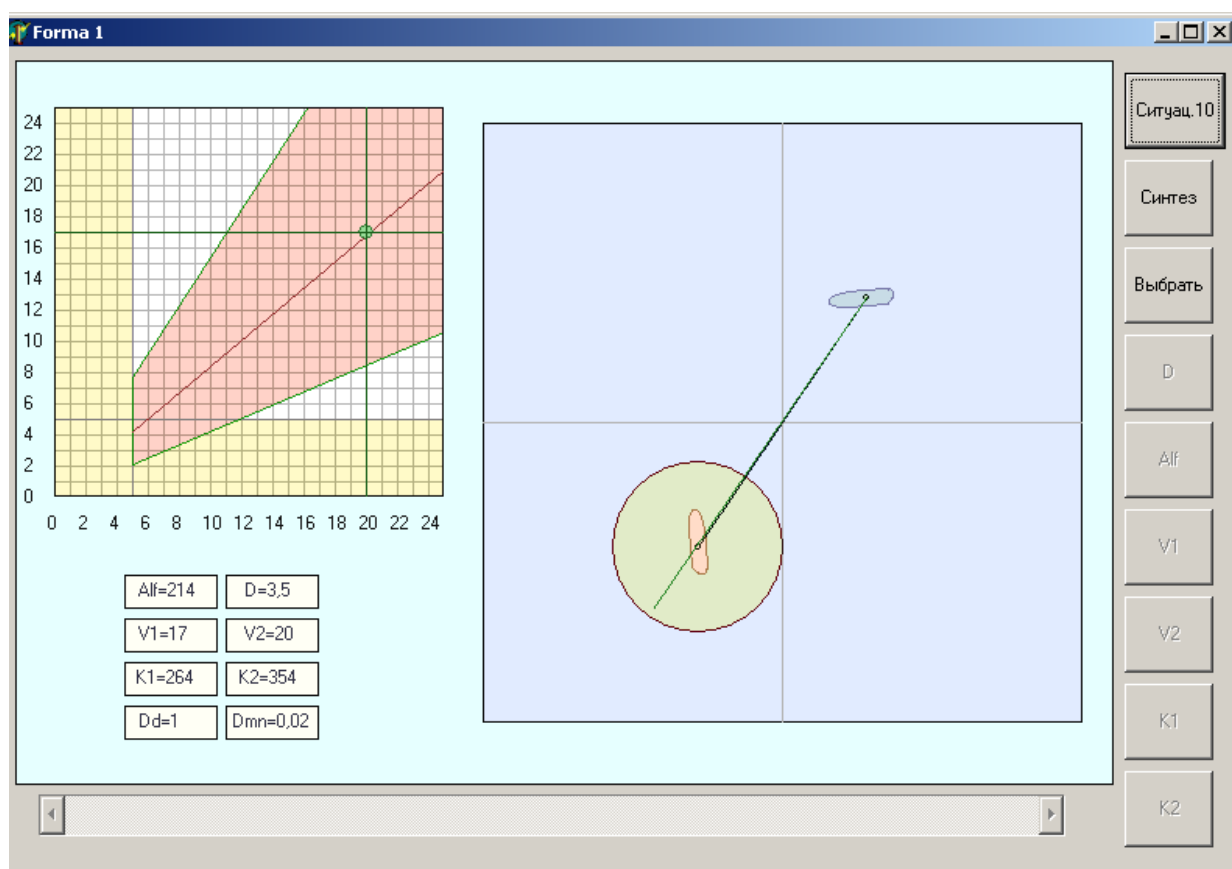


Рис. 5.20. Десята ситуація небезпечного зближення

Розглянемо вибір оптимального маневру другим альтернативним способом, коли при незмінному заданому значенні моменту часу початку гальмування обох суден $t_n=0$ с вибираються швидкості ухилення V_{1y} і V_{2y} , які забезпечують розходження суден на дистанції найкоротшого зближення, що дорівнює гранично-допустимій дистанції. Для цього вибираємо шосту ситуацію зближення, характеристики якої показані на рис. 5.21.

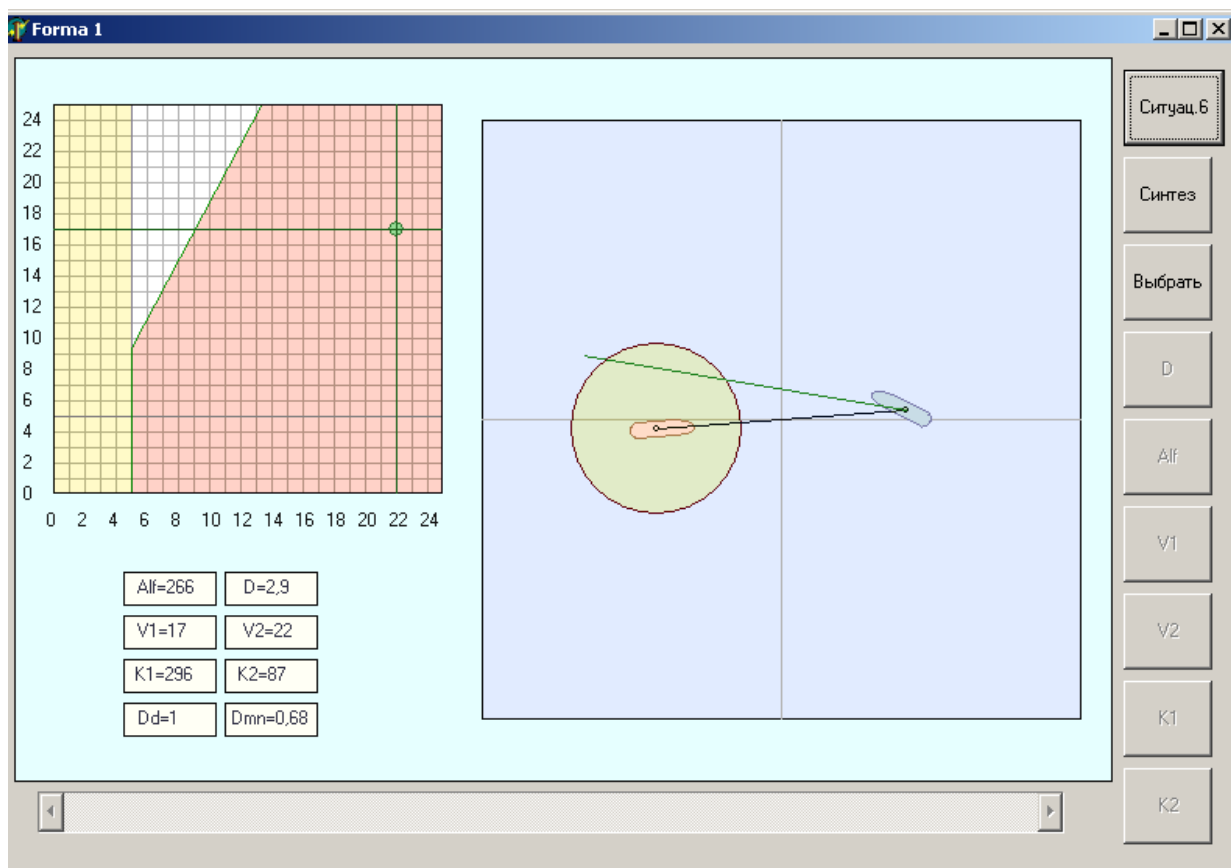


Рис. 5.21. Характеристики шостої ситуації небезпечного зближення

Після застосування клавіші "Вибрати" на екран виводяться початкові елементи для вибору швидкостей розходження суден (рис. 5.22). "Клікаєм" лівою кнопкою мишки положення курсору в точці вибраних швидкостей розходження, як показано на рис. 5.23. Це швидкості ухилення суден з наступними значеннями $V_{1y} = 15$ вуз. і $V_{2y} = 6$ вуз. Потім за допомогою клавіш "Судно 1" і "Судно 2" вибираємо режими гальмування суден, причому обом суднам вибрано активне гальмування після чого використовуємо клавішу "ОК". Маневр розходження можливий, причому

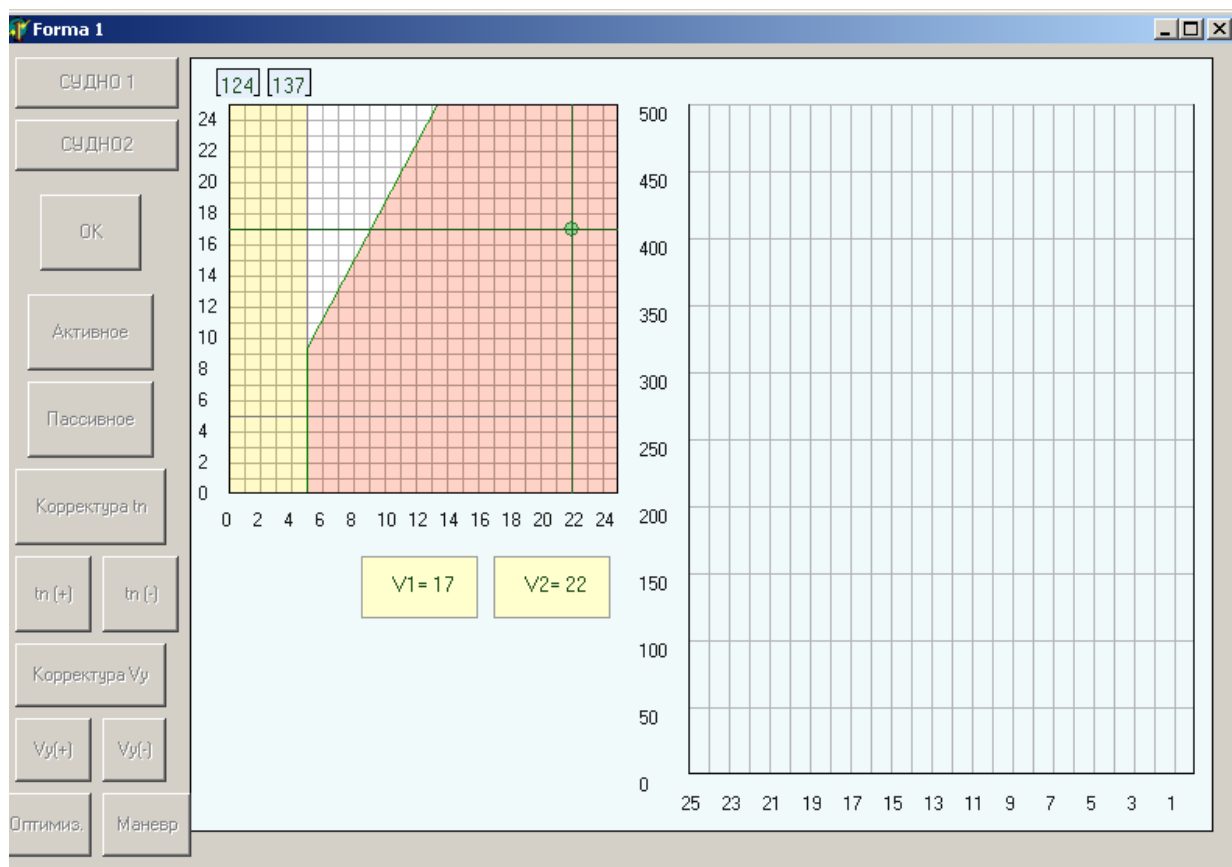


Рис. 5.22. Виведення початкових елементів

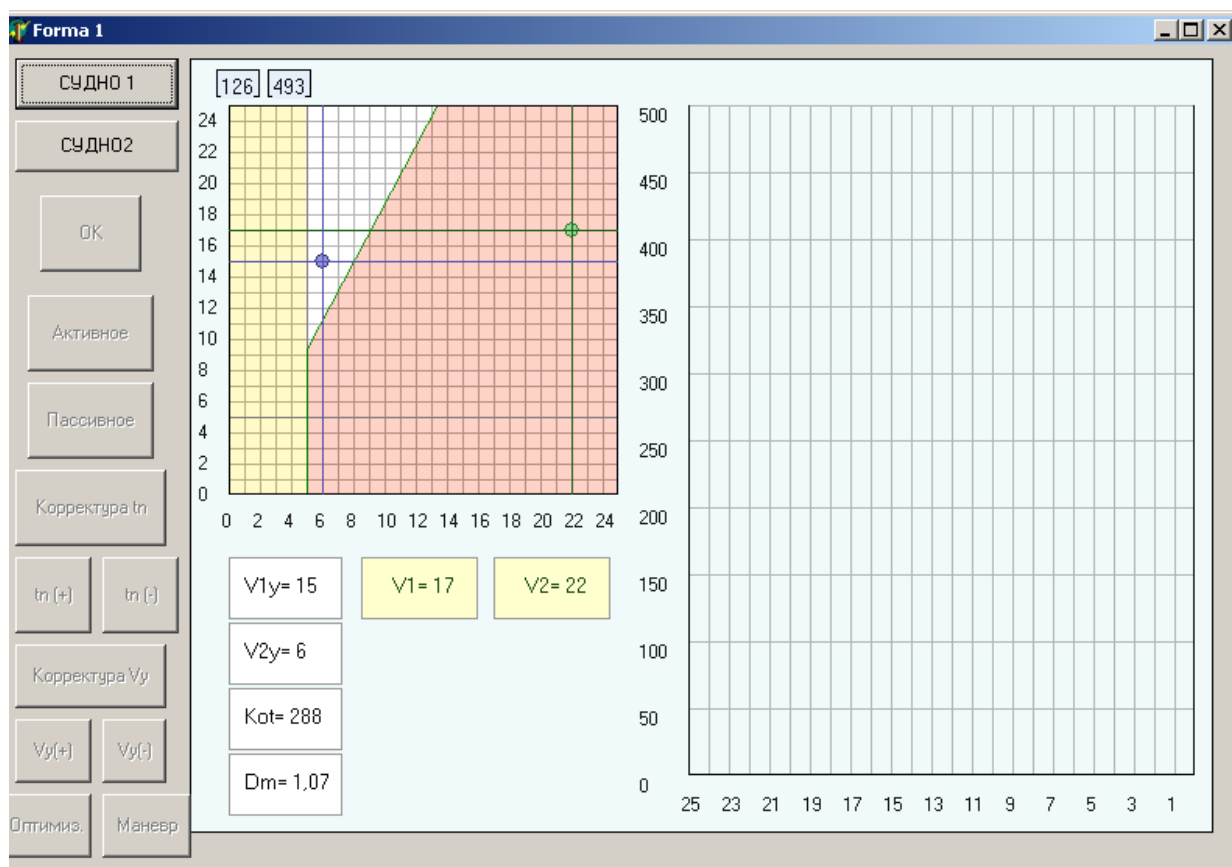


Рис. 5.23. Первинний вибір безпечних швидкостей розходження

вказані параметри гальмування обох суден (періоди гальмування $\tau_{1y} = 9$ с, $\tau_{2y} = 105$ с, і відстані $S_1 = 0,38$ кбт. і $S_2 = 3,37$ кбт.), як показано на рис. 5.24. Також вказується оптимальний час початку гальмування $t_n^* = 14$ с і час найкоротшого зближення $t_d = 119$ с.

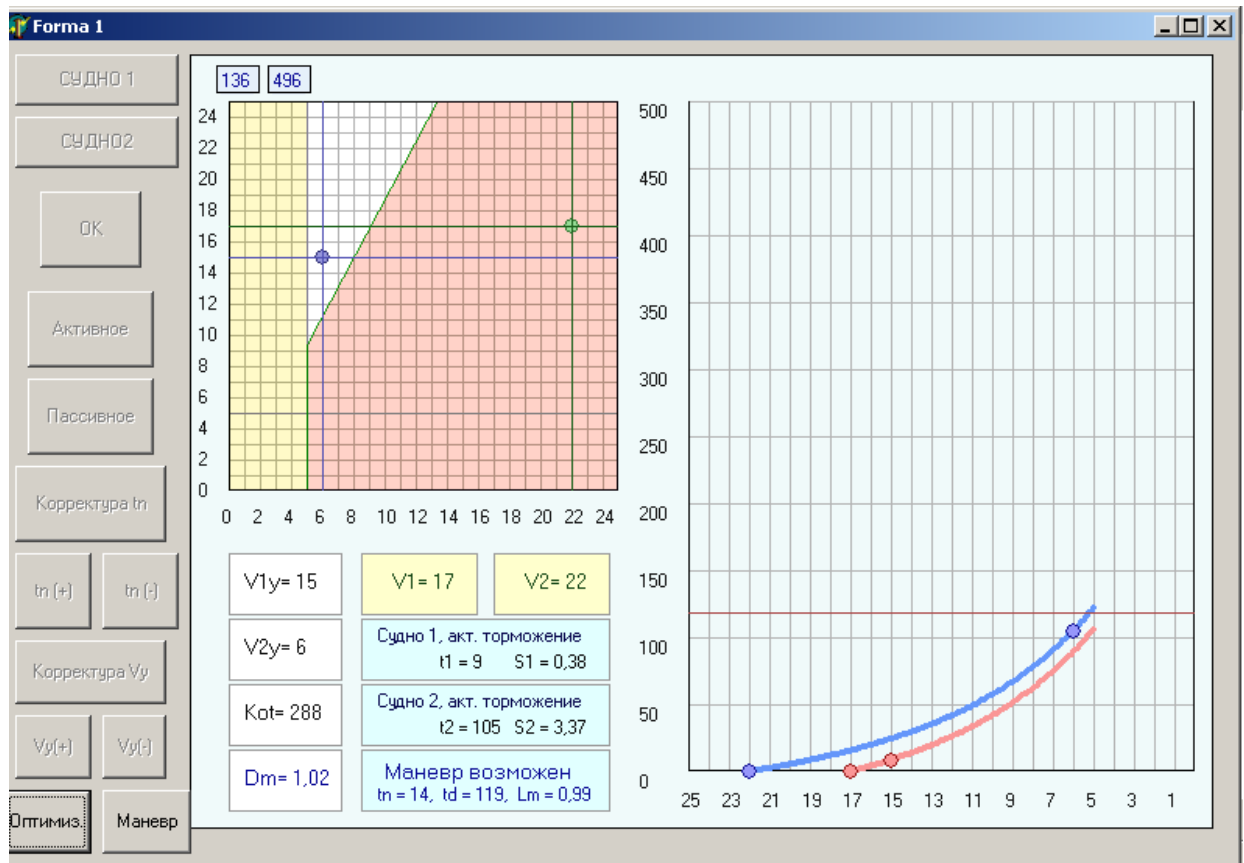


Рис. 5.24. Інформація по оптимальному часу початку маневру

Після вибору клавiшi "Оптимiз." активiзуютьcя клавiшi "Коректура t_n" i "Коректура V_y", як показано на рис. 5.25. Для оптимiзацiї маневру по швидкостях розходження слiд «кликнути» клавiшу "Коректура V_y", пiсля чого вiдбувається активiзацiя клавiш "Судно 1" i "Судно 2" для вибору судна, швидкiсть якого планується змiнити (рис. 5.26). Спочатку для змiни швидкостi розходження клавiшею "Судно 1" було вибране перше судно. При цьому бiля iнформацiйного табло iндикацiї швидкостi розходження першого

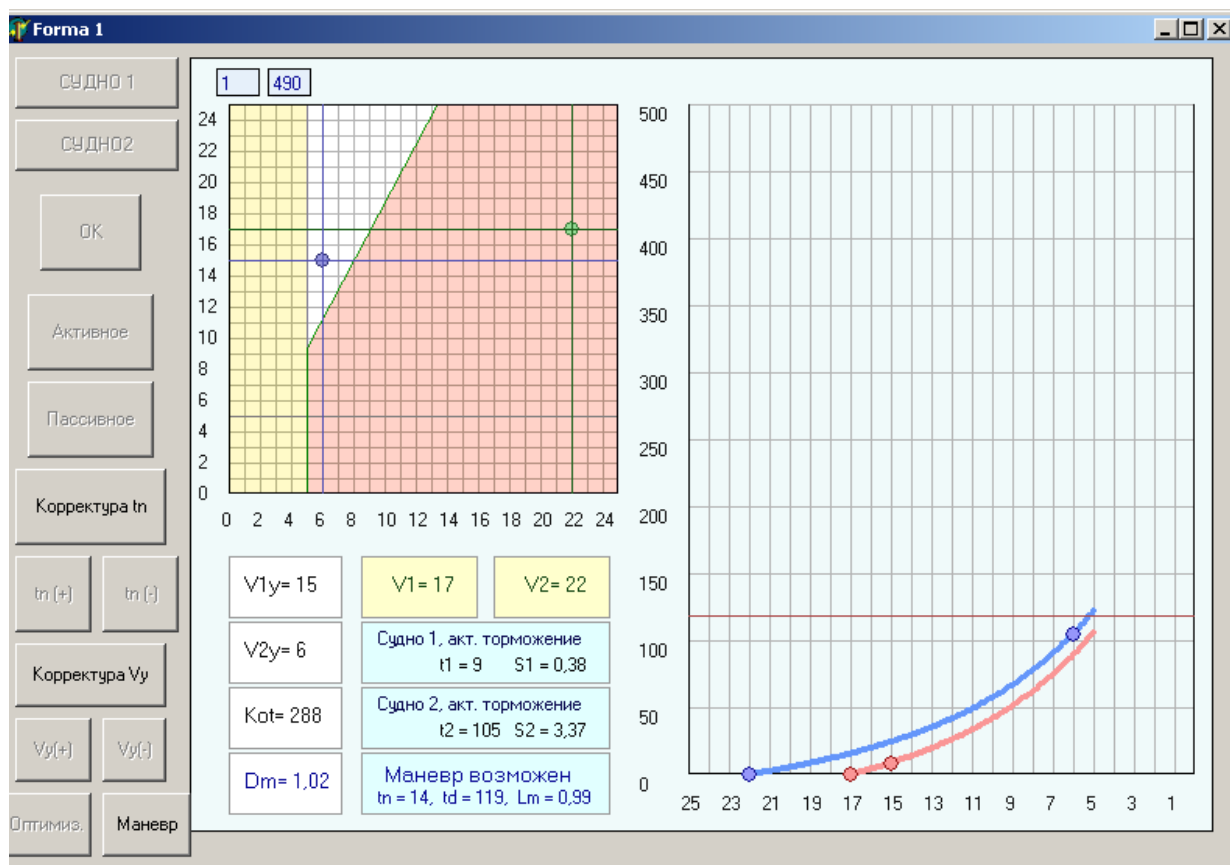


Рис. 5.25. Вибір режимів оптимізації

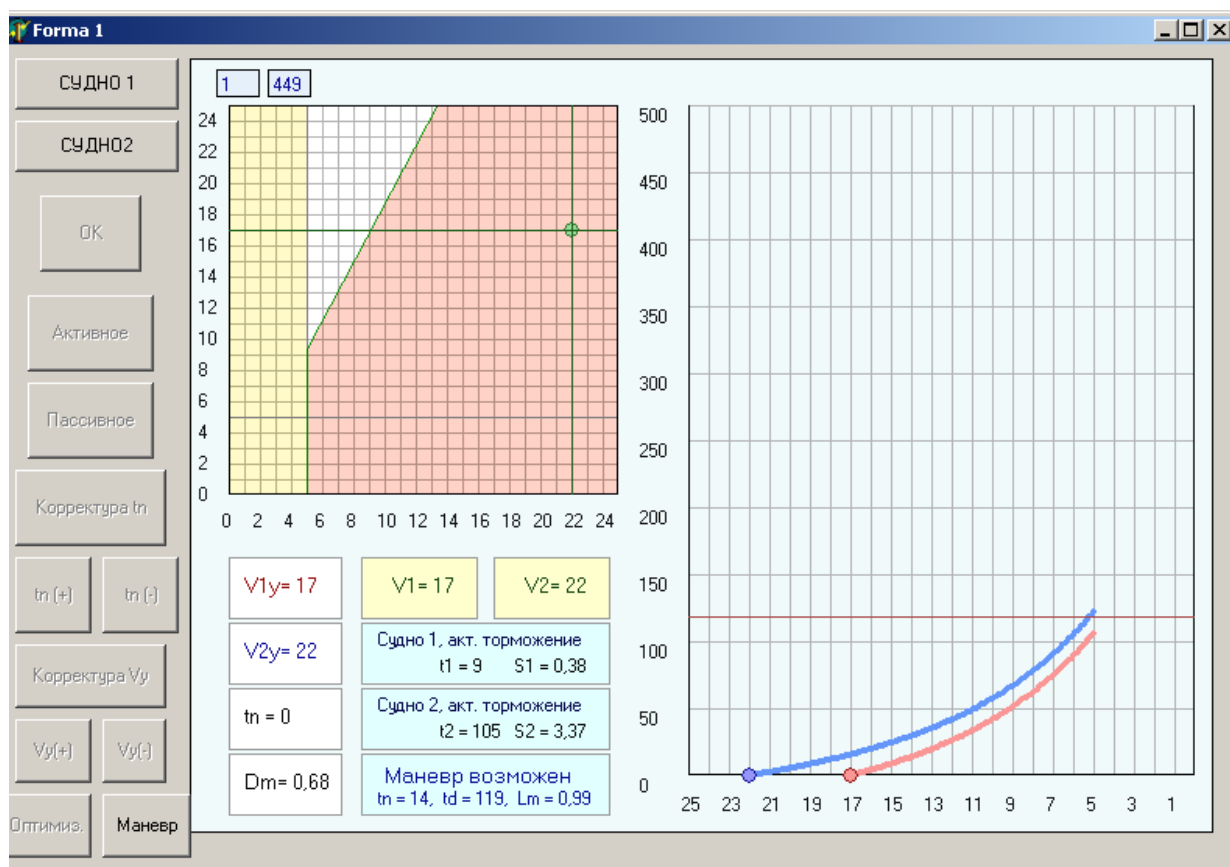


Рис. 5.26. Вибір судна для зниження швидкості

судна з'являється закрашений прямокутник, як показано на рис. 5.27, при «кликанні» по „Vy(-)” знижуємо швидкість розходження першого судна, що виражається показаннями інформаційного табло і пониженням положення

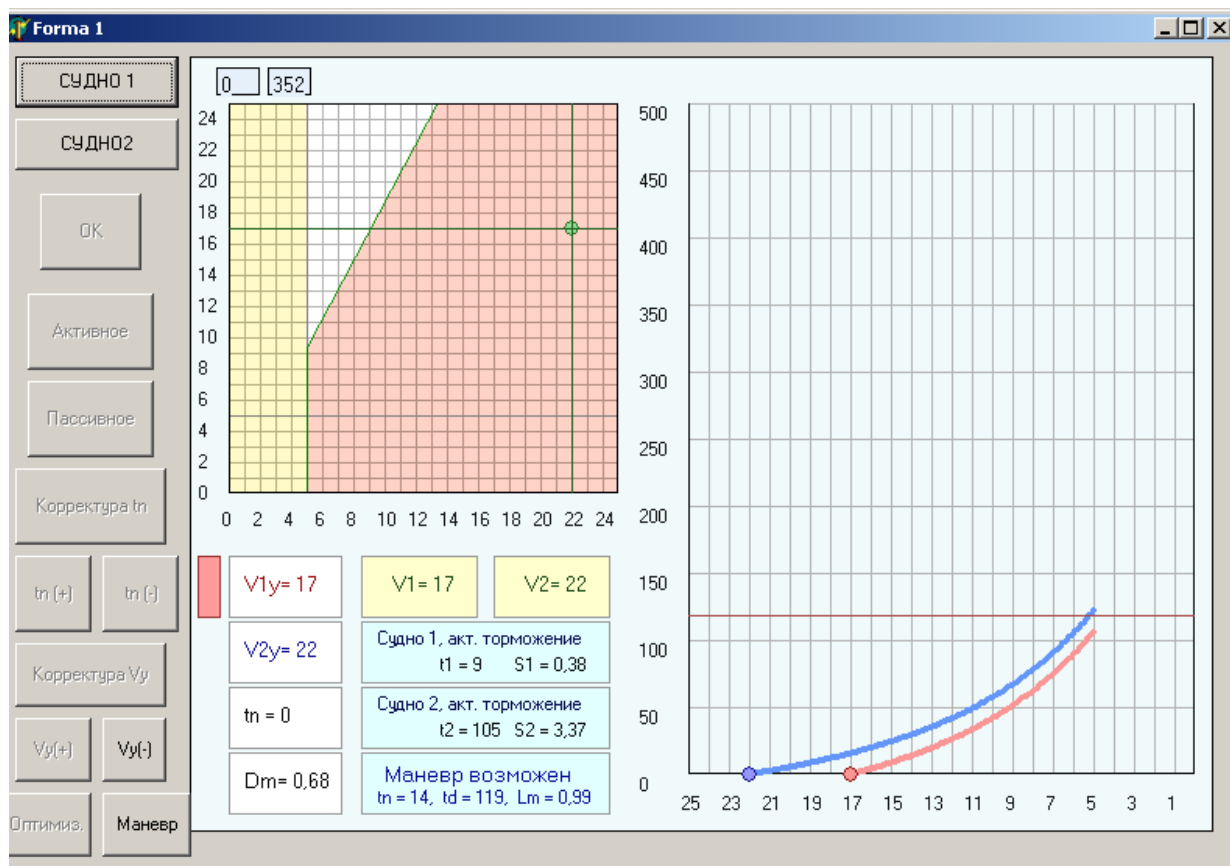


Рис. 5.27. Інтерфейс при виборі першого судна

лінії, відповідної значенню швидкості розходження першого судна, яка вводиться. Швидкість першого судна, яка вводиться, рівна $V_{1y} = 14,5$ уз., на що також вказує горизонтальна лінія покажчика швидкостей. Звертаємо увагу, що при зміні швидкості розходження першого судна на кривій гальмування першого судна з'являється мітка, положення якої відповідає значенню швидкості, що вводиться (14,5). Потім вибирається друге судно, внаслідок чого кольоровий прямокутник переміщається на позицію перед інформаційним табло швидкості розходження другого судна. Зміна значення швидкості розходження другого судна досягається «кликанням» клавішею „Vy(-)”, поки не буде досягнута необхідна швидкість розходження. Її

величина контролюється значенням дистанції найкоротшого зближення, що виводиться. На рис. 5.30 показано, що зміна швидкості розходження другого судна завершується, коли дистанція найкоротшого зближення досягає величини гранично-допустимої дистанції (0,99 милі). При цьому швидкість розходження другого судна рівна $V_{2y} = 6,5$ вуз.

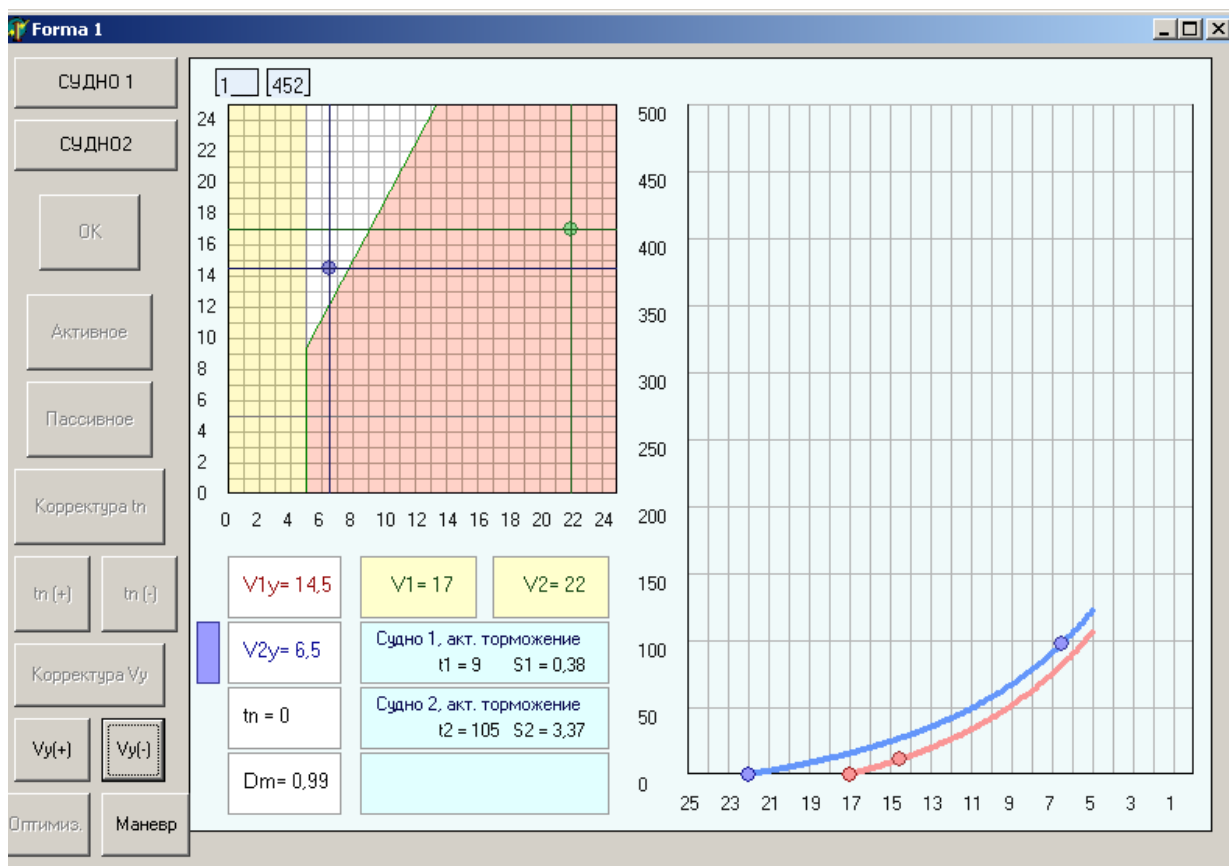


Рис. 5.30. Коректура швидкості розходження другого судна

5.2. Перевірка імітаційним моделюванням коректності одержаних результатів.

Розглянемо другий модуль імітаційної програми, який призначений для програвання маневру розходження суден зміною їх швидкостей, параметри якого одержані в першому модулі імітаційної програми, як це було показано в

попередньому підрозділі. Для прикладу програвання маневру розходження скористаємося ситуацією 2, характеристики якої представлені на рис. 5.31.

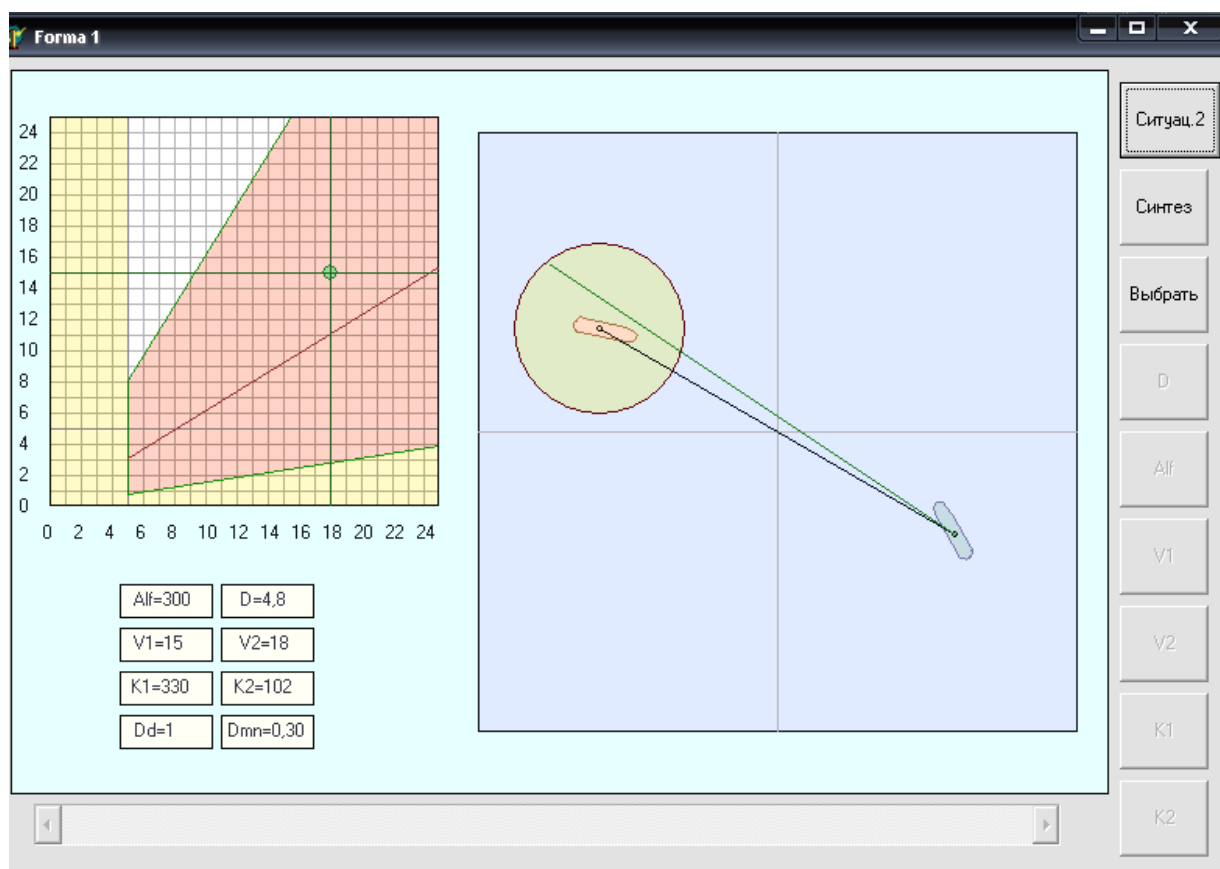


Рис. 5.31. Характеристики небезпечної ситуації 2

Для даної ситуації вибране активне гальмування першого судна і пасивне гальмування другого судна, а їх безпечні швидкості розходження склали для першого судна $V_{1y} = 14,0$ вуз., а для другого судна - $V_{2y} = 7,1$ вуз., що показано на рис. 5.32. На ньому також приводиться повідомлення про можливість виконання маневру розходження, причому оптимальне значення часу початку маневру дорівнює $t_n^* = 37$ с і момент часу закінчення процесу гальмування $t_d = 261$ с. Потім здійснили оптимізацію за часом початку маневру гальмування, як показано на рис. 5.33, залишаючи незмінними вибрані швидкості розходження обох суден.

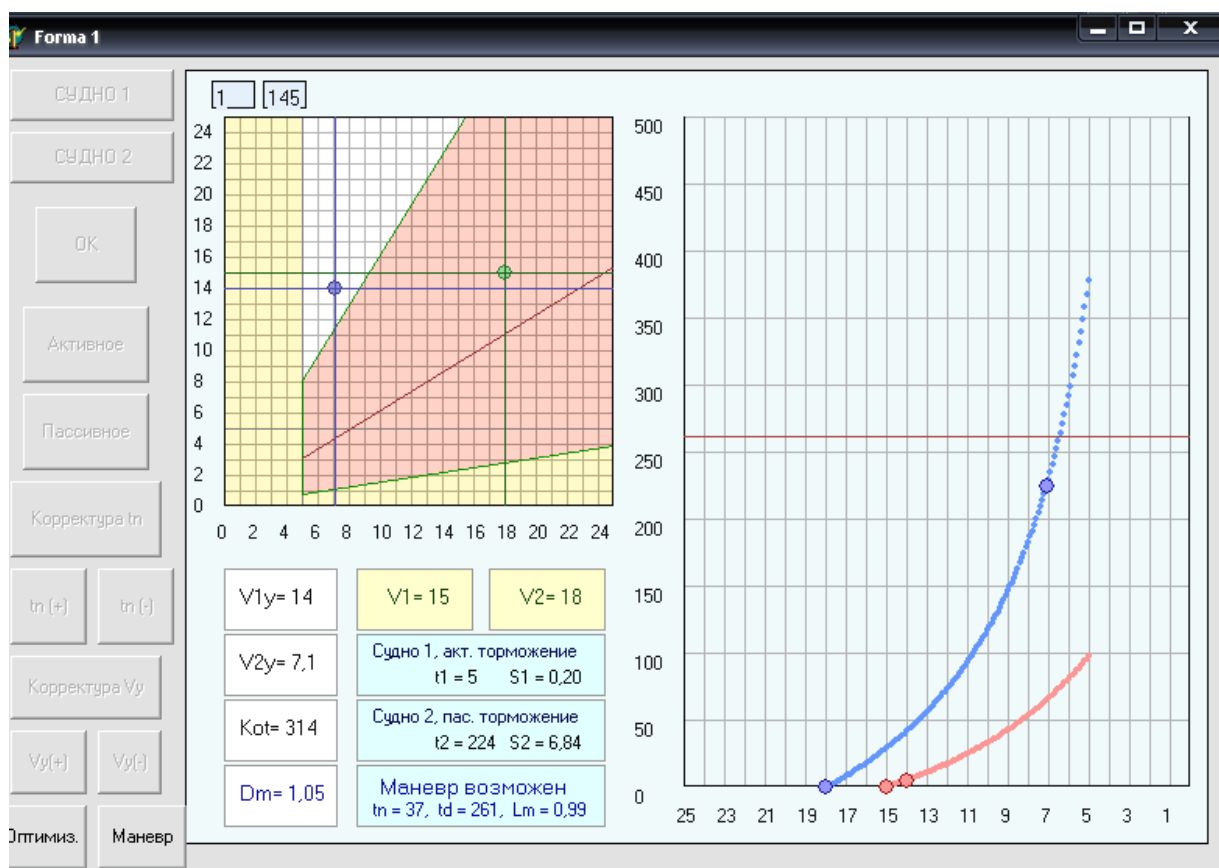


Рис. 5.32. Характеристики оптимального маневру розходження

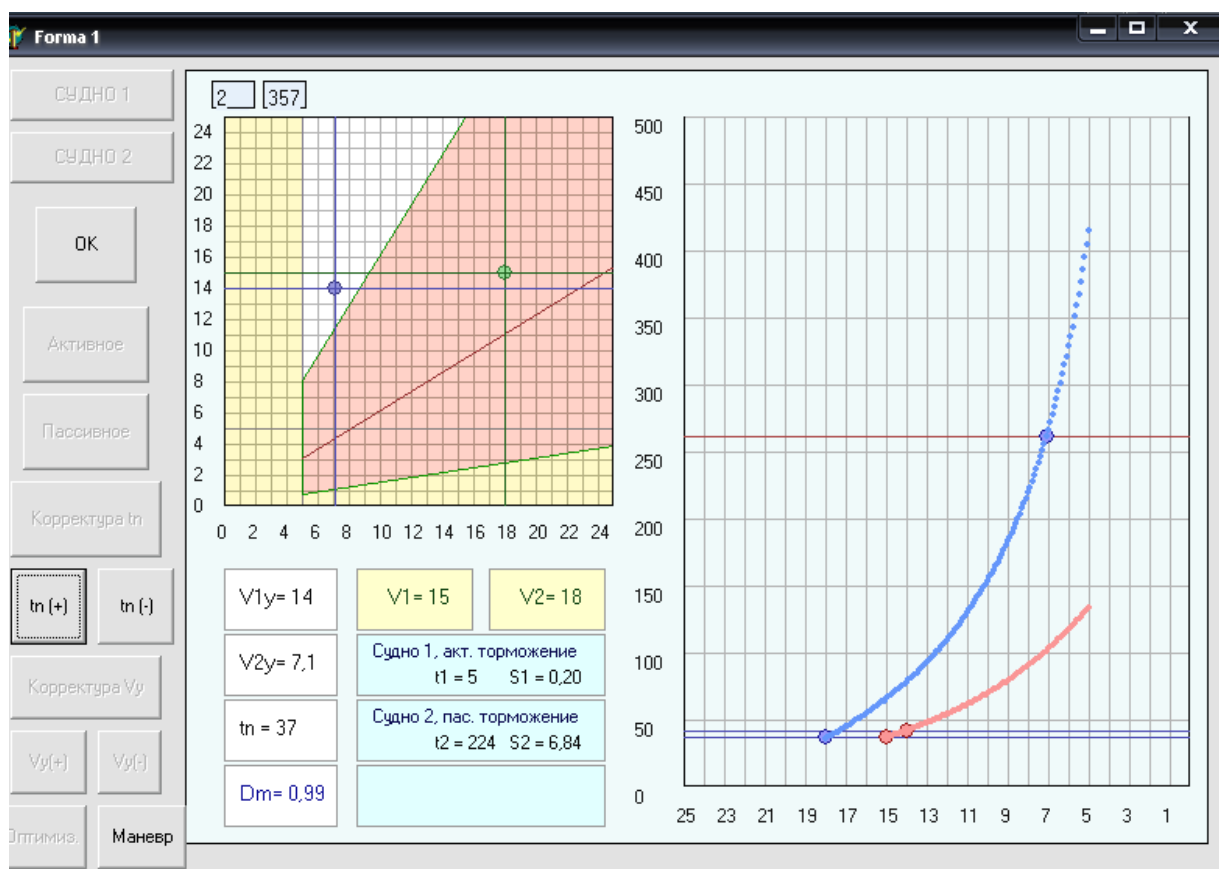


Рис. 5.33. Оптимізація часу початку маневру

Після формування маневру розходження є можливість його програвання, для цього необхідно скористатися клавішею "Маневр", після чого на екрані монітора відображається початкова ситуація небезпечного зближення і виводяться значення її параметрів, а також час початку гальмування суден, час закінчення перехідного процесу і час найкоротшого зближення (рис. 5.34). Для програвання маневру розходження слід повторно "кликнути" клавішу "Маневр" і на лівій частині екрану процес розходження відображається у відносному русі, а на правій частини - в істинному русі.

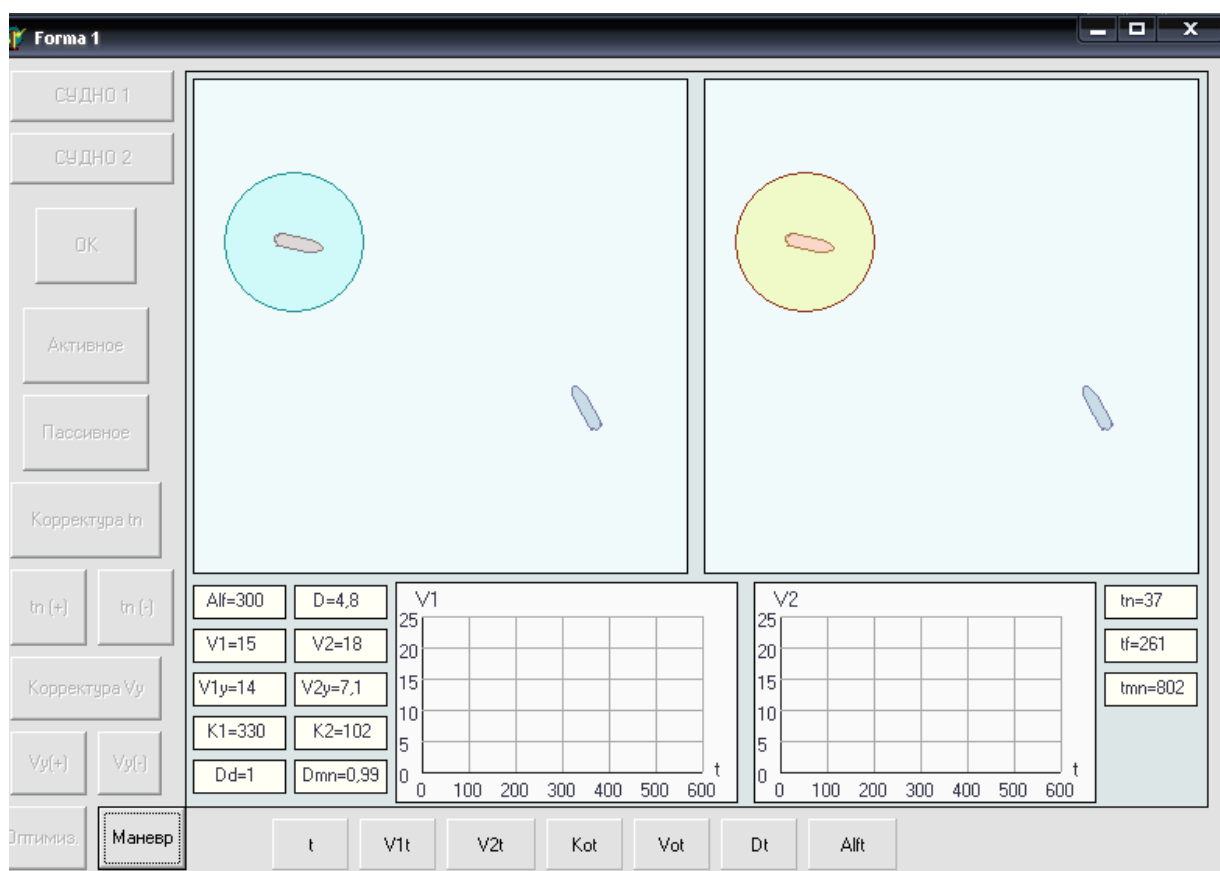
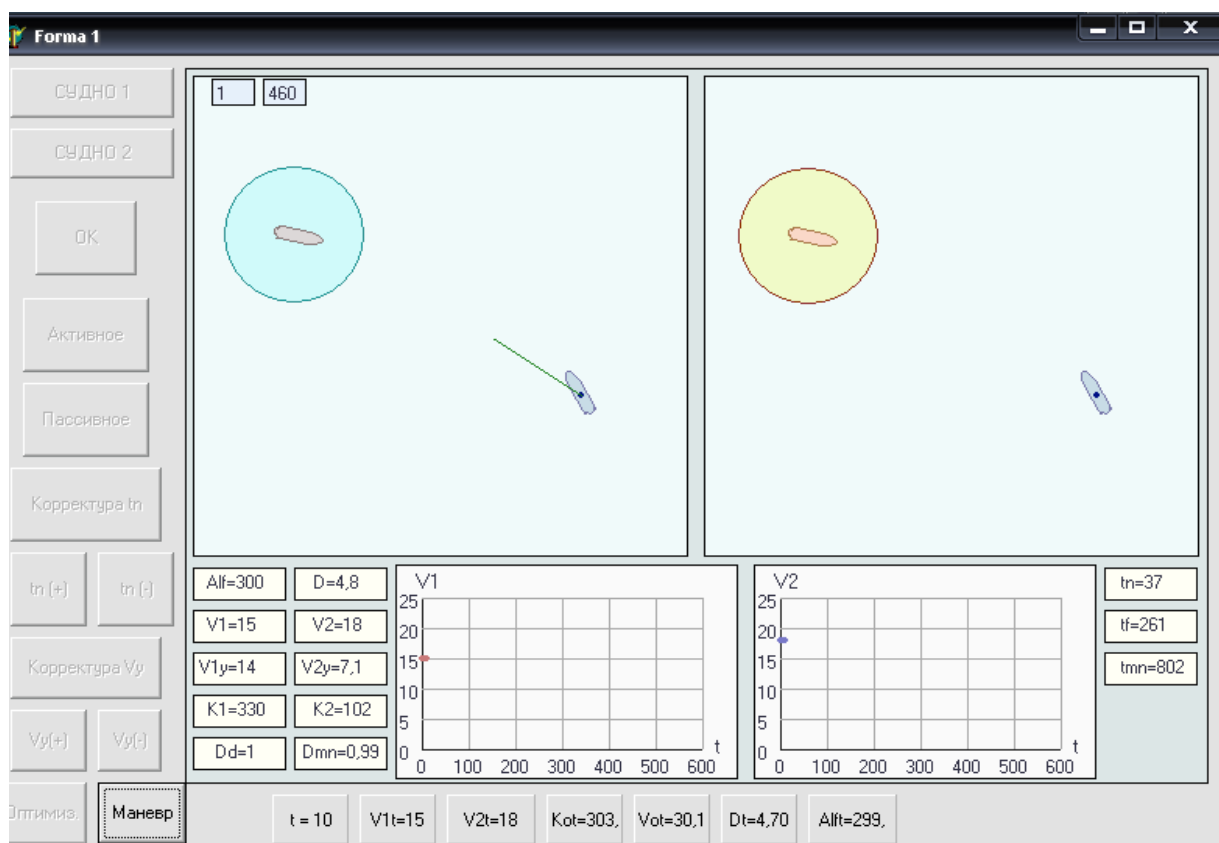
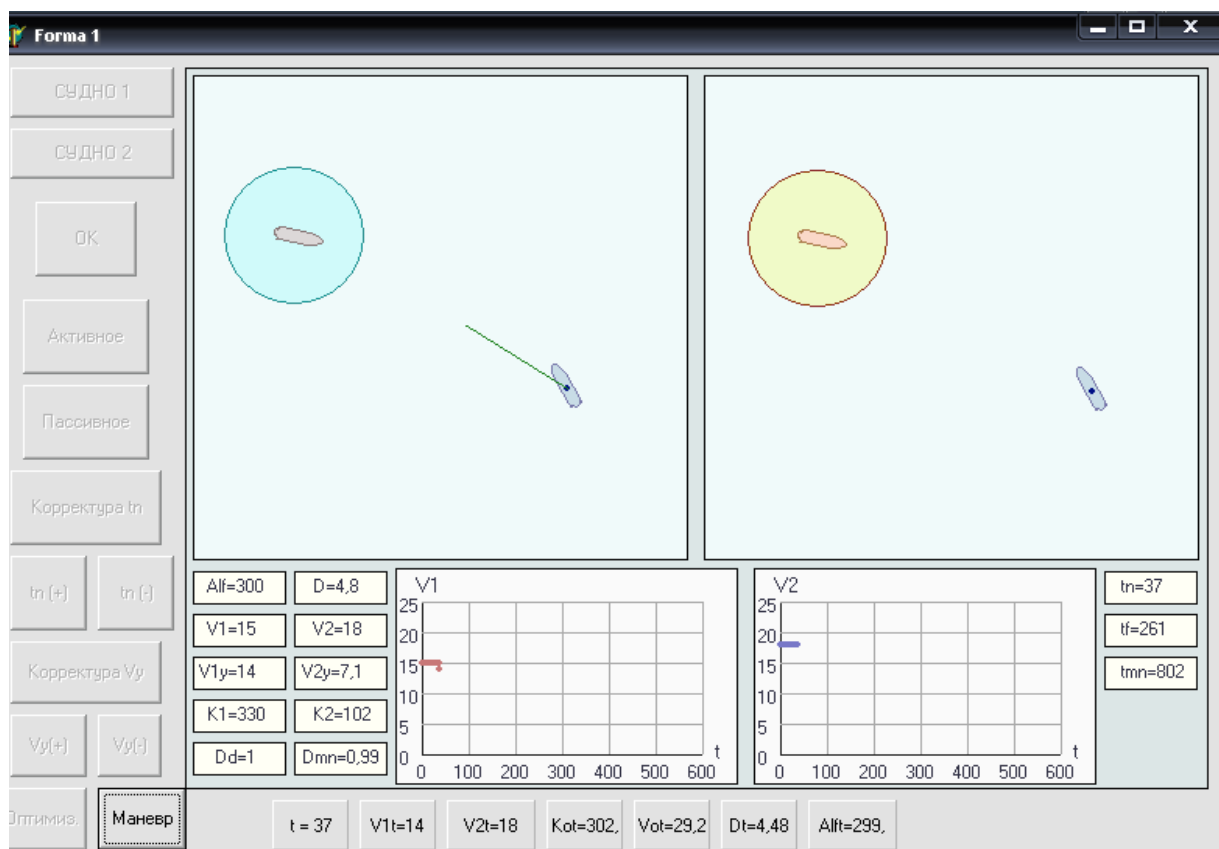


Рис. 5.34. Початковий стан процесу розходження

Як показано на рис. 5.35, з урахуванням поточних значень відображаються графіки залежності швидкостей суден від поточного часу. Причому на рис. 5.35 показано стан процесу розходження на 10 с. На рис. 5.36 відображено процес розходження на 37 с, коли починається гальмування суден.

Рис. 5.35. Стан процесу розходження на $t = 10$ сРис. 5.36. Стан процесу розходження на початок гальмування $t = 37$ с

Після завершення гальмування судна продовжують слідувати постійними швидкостями розходження $V_{1y} = 14,0$ вуз. і $V_{2y} = 7,1$ вуз. до моменту часу найкоротшого зближення, який, як випливає з рис. 5.39, рівний 802 с, причому дистанція найкоротшого зближення складає 0,99 милі і рівна гранично-допустимій дистанції, а різниця між відносним курсом і пеленгом в даний момент часу дорівнює 90° .

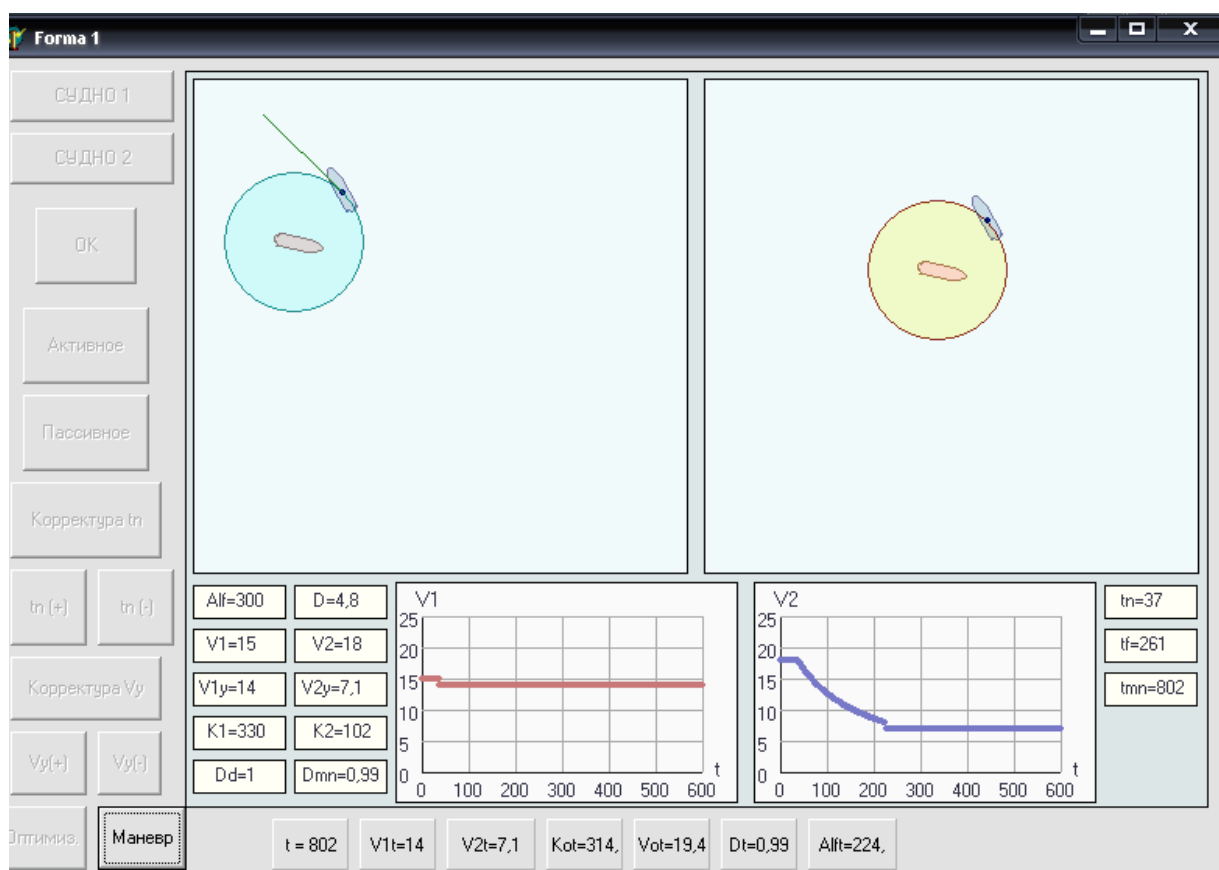


Рис. 5.39. Момент часу $t=802$ с найкоротшого зближення суден

Розглянемо випадок розходження суден зміною їх швидкостей пасивним гальмуванням, для чого вибираємо стандартну ситуацію 3, яка разом з характеристиками показана на рис. 5.40. З рис. 5.41 виходить що вибрані значення швидкостей розходження $V_{1y} = 8,9$ вуз. і $V_{2y} = 15,1$ вуз., при цьому оптимальний момент початку маневру, розрахований програмою, складає 108 с.

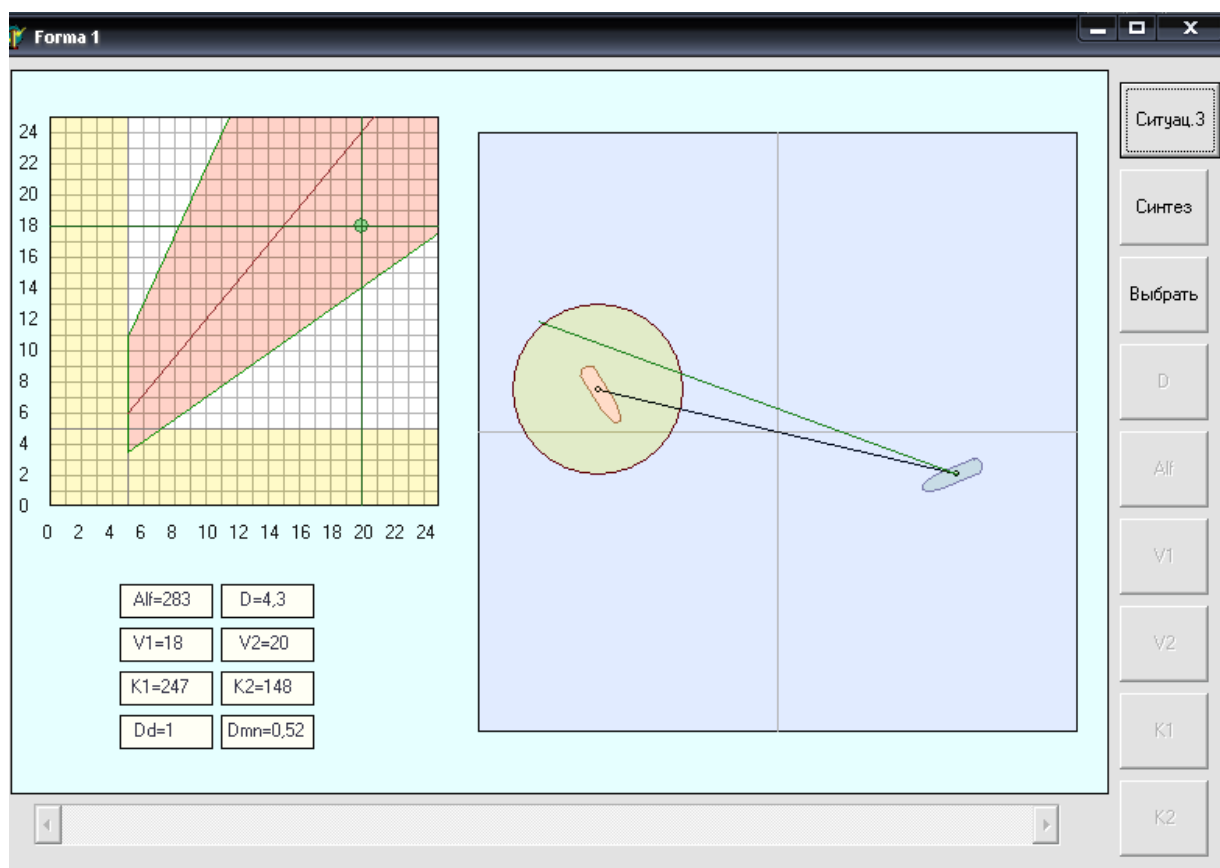


Рис. 5.40. Характеристики небезпечної ситуації 3

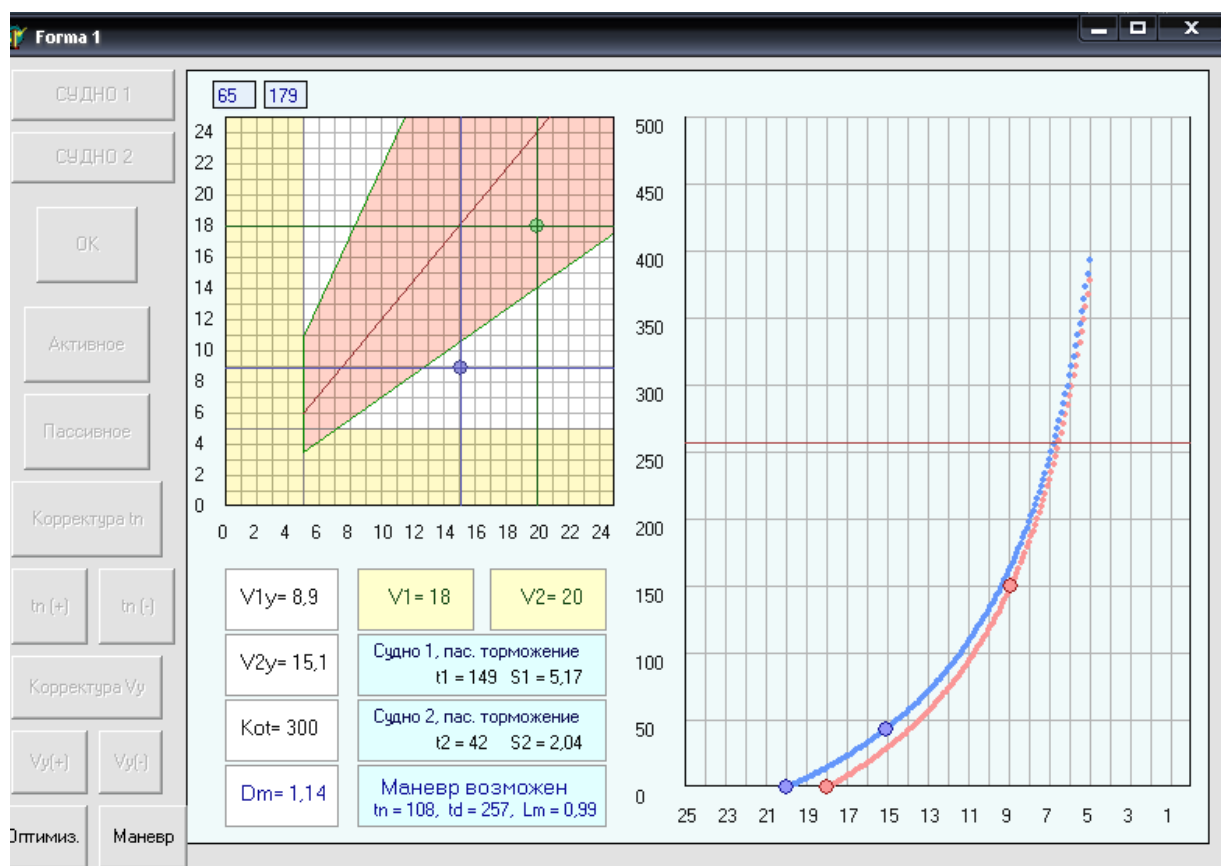


Рис. 5.41. Параметры оптимального маневру разходження

Припустимо, через зовнішні причини оптимальний маневр не може бути вибраний для розходження, тому ухвалене рішення починати гальмування суден на 20 с. Для цього клавішами «Оптиміз.» і "Коректура t_n " вибирається $t_n = 20$ с (рис. 5.42), при цьому розходження суден відбуватиметься на дистанції найкоротшого зближення $D_{\min} = 1,12$ милі.

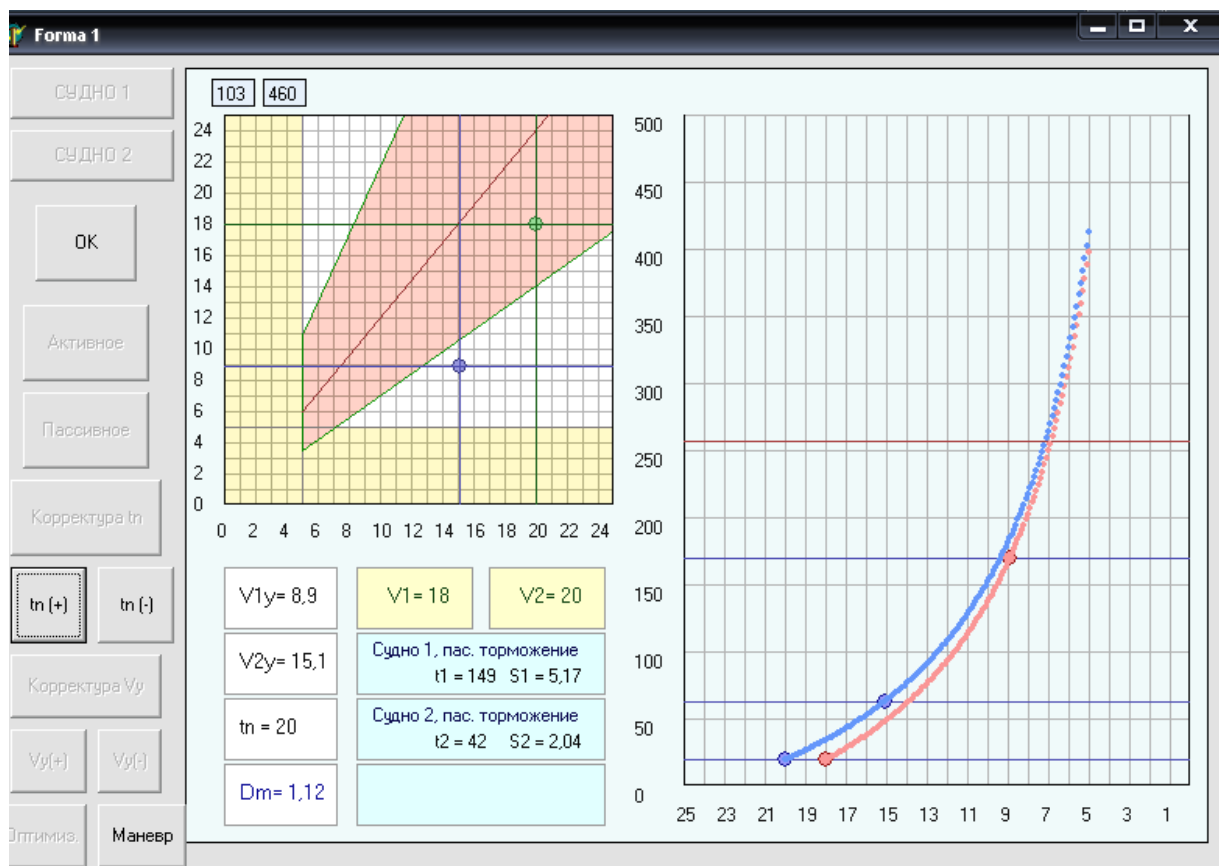


Рис. 5.42. Коректура моменту часу початку гальмування суден

Початковий стан процесу розходження після використання клавіші «Маневр» показаний на рис. 5.43, а початковий період пасивного гальмування суден відображений на рис. 5.44. Перехідний період пасивного гальмування другого судна менше (42 с), і воно першим завершує гальмування на 62 с процесу розходження, що показане на рис. 5.45. Перехідний період і процес пасивного гальмування першим судном завершуються на 169 с процесу розходження (рис. 5.46).

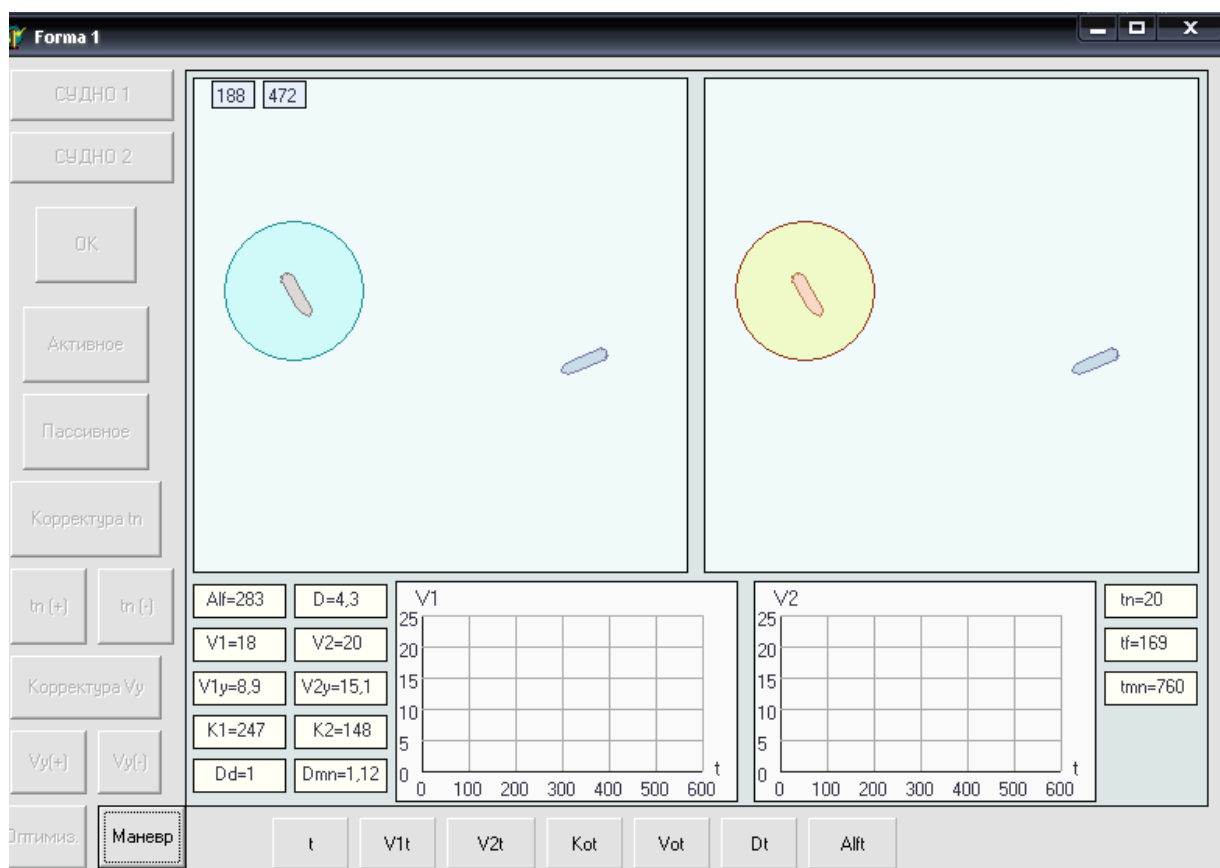


Рис. 5.43. Початковий стан процесу розходження суден

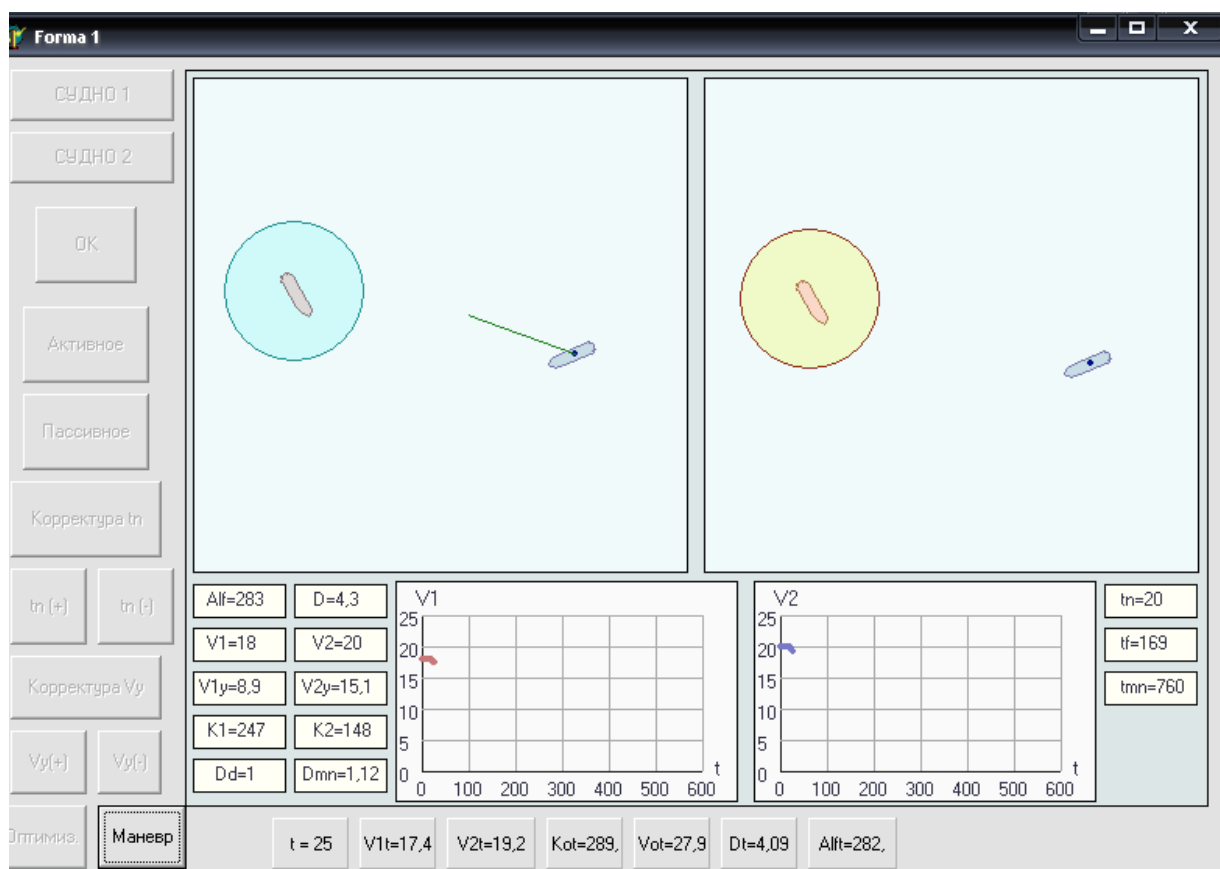


Рис. 5.44. Початковий період гальмування суден

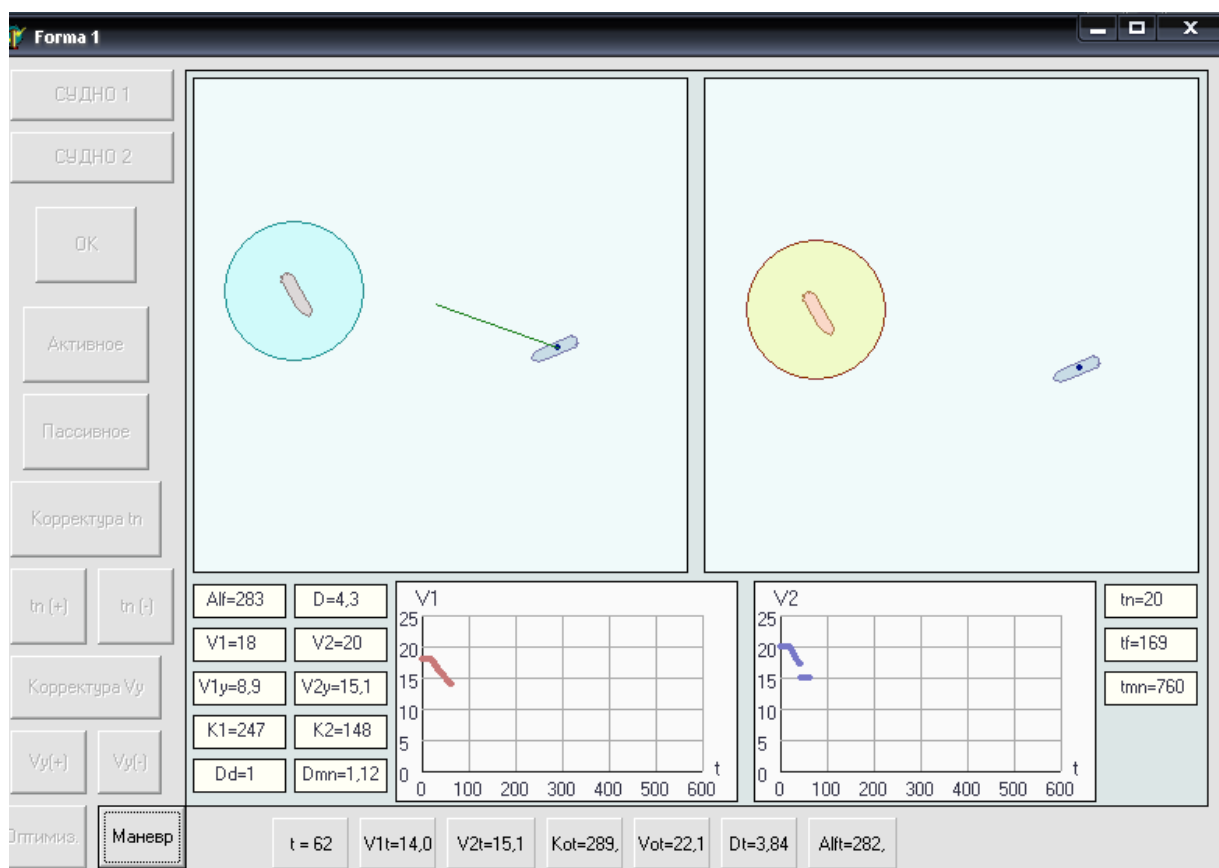


Рис. 5.45. Завершения гальмування другим судном

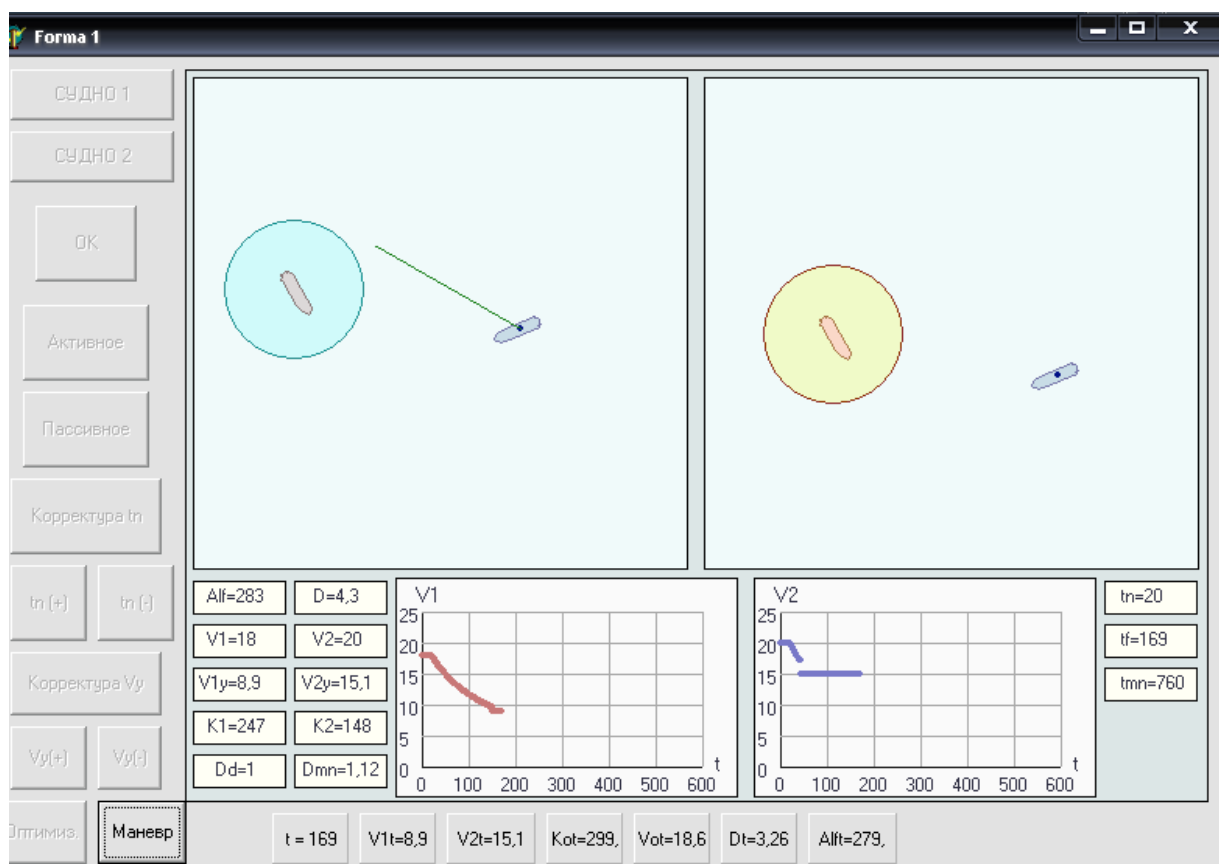


Рис. 5.46. Завершения гальмування першим судном

Після завершення перехідного періоду судна зближуються на постійних швидкостях розходження $V_{1y} = 8,9$ уз. і $V_{2y} = 15,1$ уз., поки у момент часу 760 с мінімально зближуватимуться на дистанцію 1,12 милі, що показано на рис. 5.47.

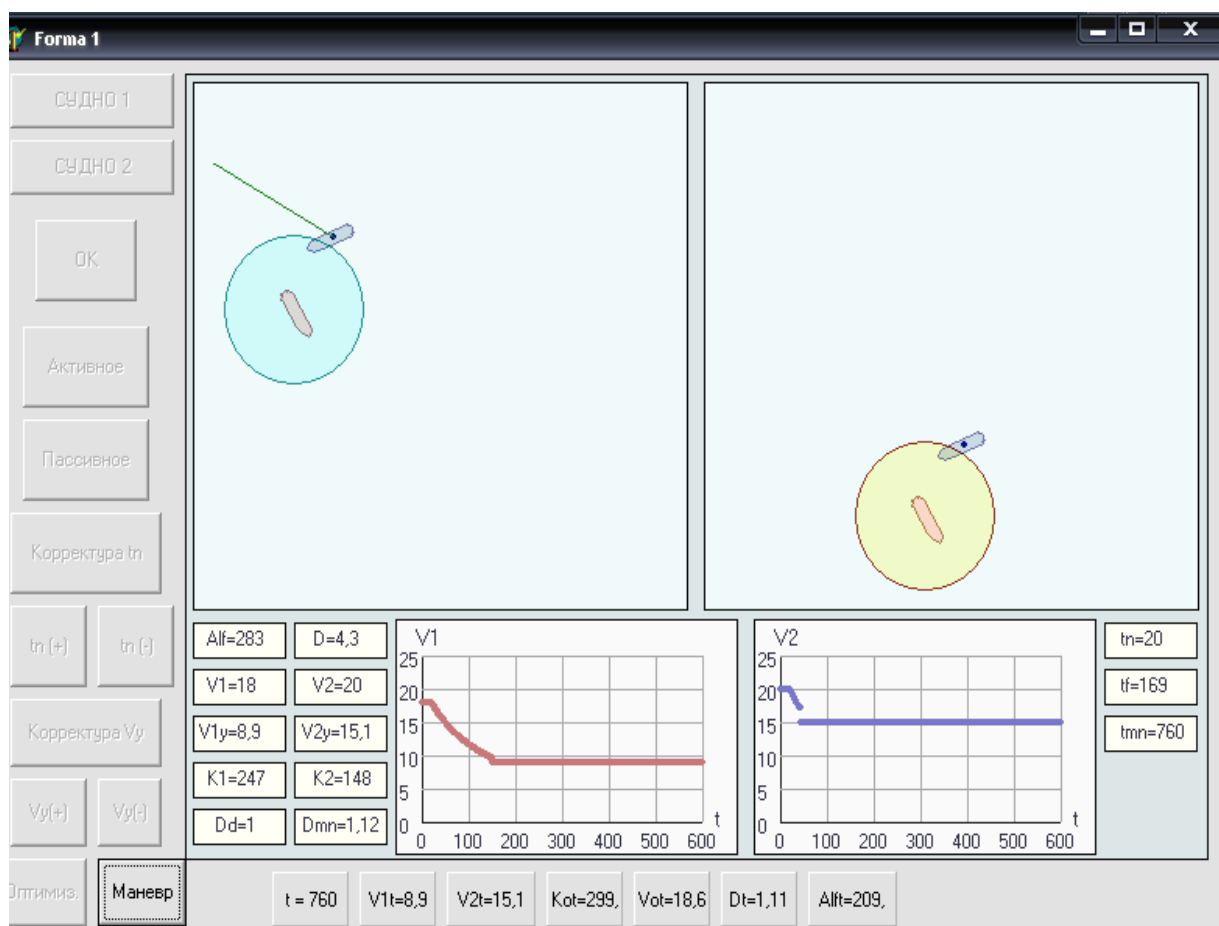


Рис. 5.47. Мінімальне зближення суден

Для програвання маневру розходження суден зниженням швидкості активним гальмуванням була вибрана стандартна ситуація 4, характеристики якої представлені на рис. 5.48. Параметри оптимального маневру розходження вибором початкового моменту часу гальмування приведені на рис. 5.49. Показано, що через невеликі періоди активного гальмування обох суден оптимальний момент часу початку активного гальмування рівний 253 с, при цьому судна розійдуться на дистанції найкоротшого зближення 0,99 милі.

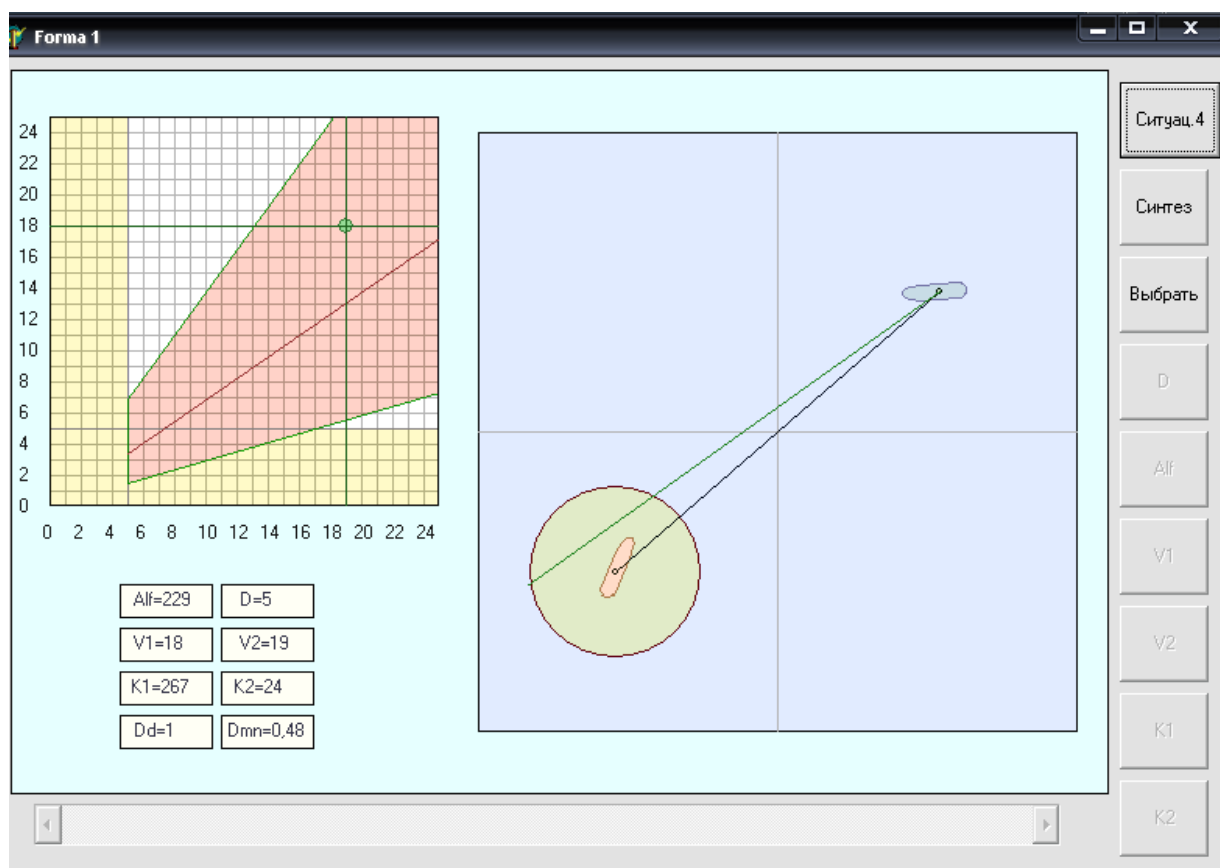


Рис. 5.48. Характеристики небезпечної ситуації 4

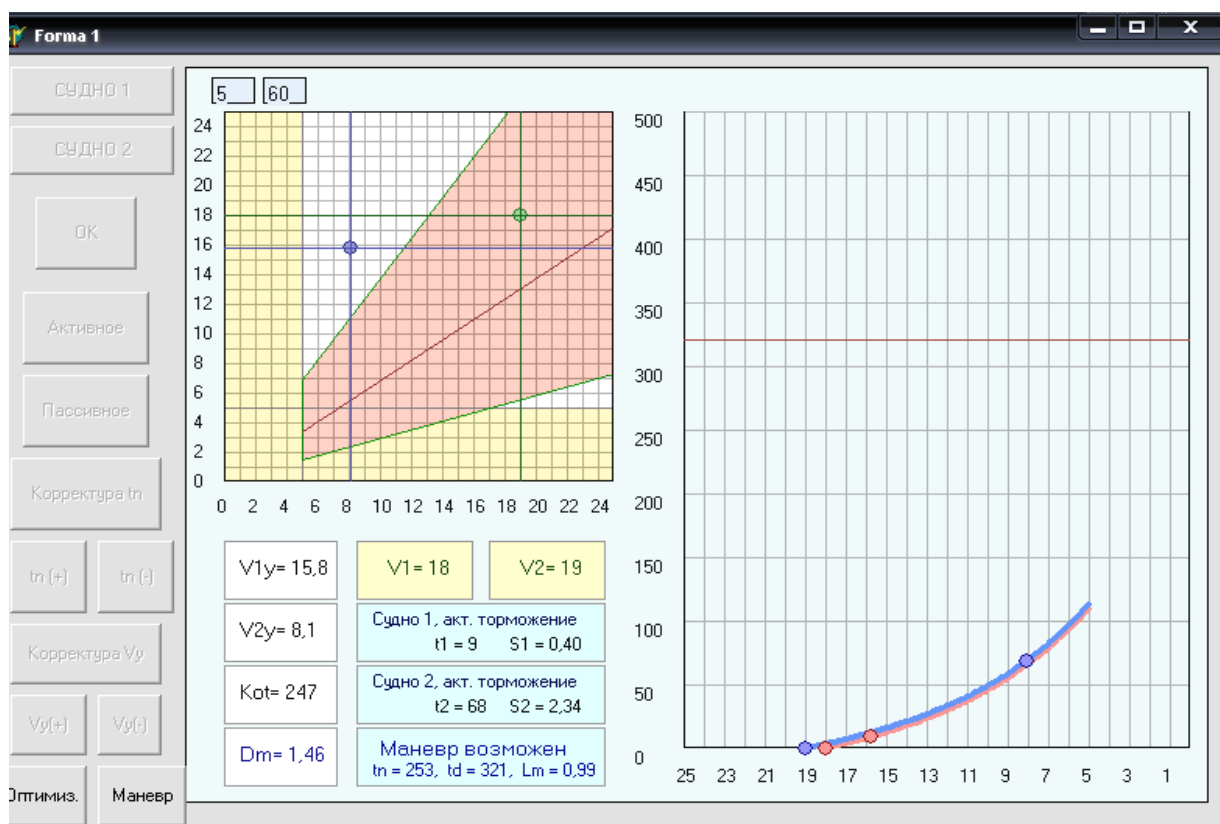


Рис. 5.49. Оптимальний маневр розходження початковим часом

У даному прикладі розглянемо можливість вибору оптимальних швидкостей розходження суден при початку процесу їх гальмування в нульовий момент часу. Для цього за допомогою клавіш «Оптиміз.» і "Коректура V_y ", вибираємо режим визначення оптимальних швидкостей розходження суден (рис. 5.50). При цьому початкові значення швидкостей розходження вибираються рівними початковим швидкостям суден. Спочатку клавішею «Судно 1» вибирається перше судно для коректури швидкості

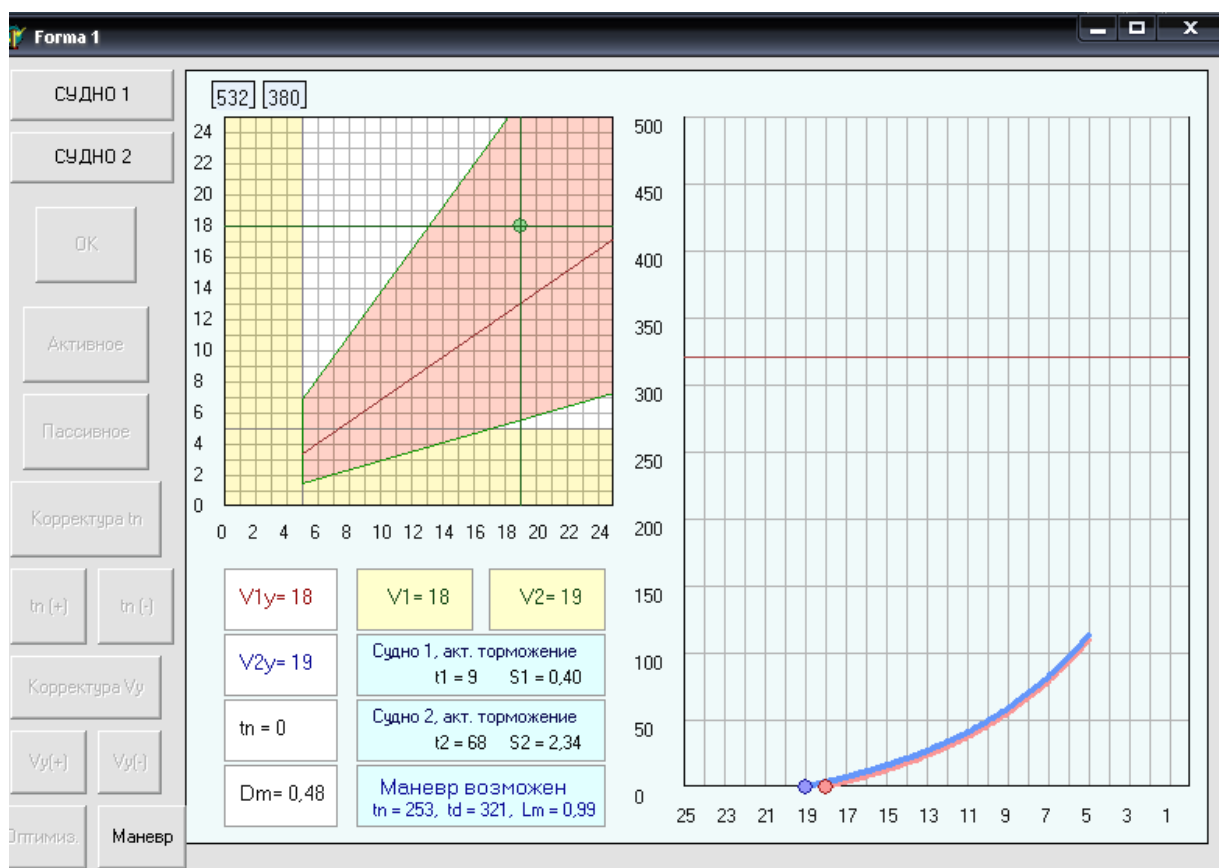


Рис. 5.50. Режим оптимізації швидкостей розходження суден

розходження, причому за допомогою клавіші « $V_y(-)$ » вибирається швидкість $V_{1y} = 15,5$ вуз., як показано на рис. 5.51, причому положення горизонтальної лінії індикатора відповідає даному відліку швидкості. Потім після використання клавіші «Судно 2» вибирається друге судно і, як впливає з рис. 5.52, введена швидкість $V_{2y} = 11,5$ вуз.

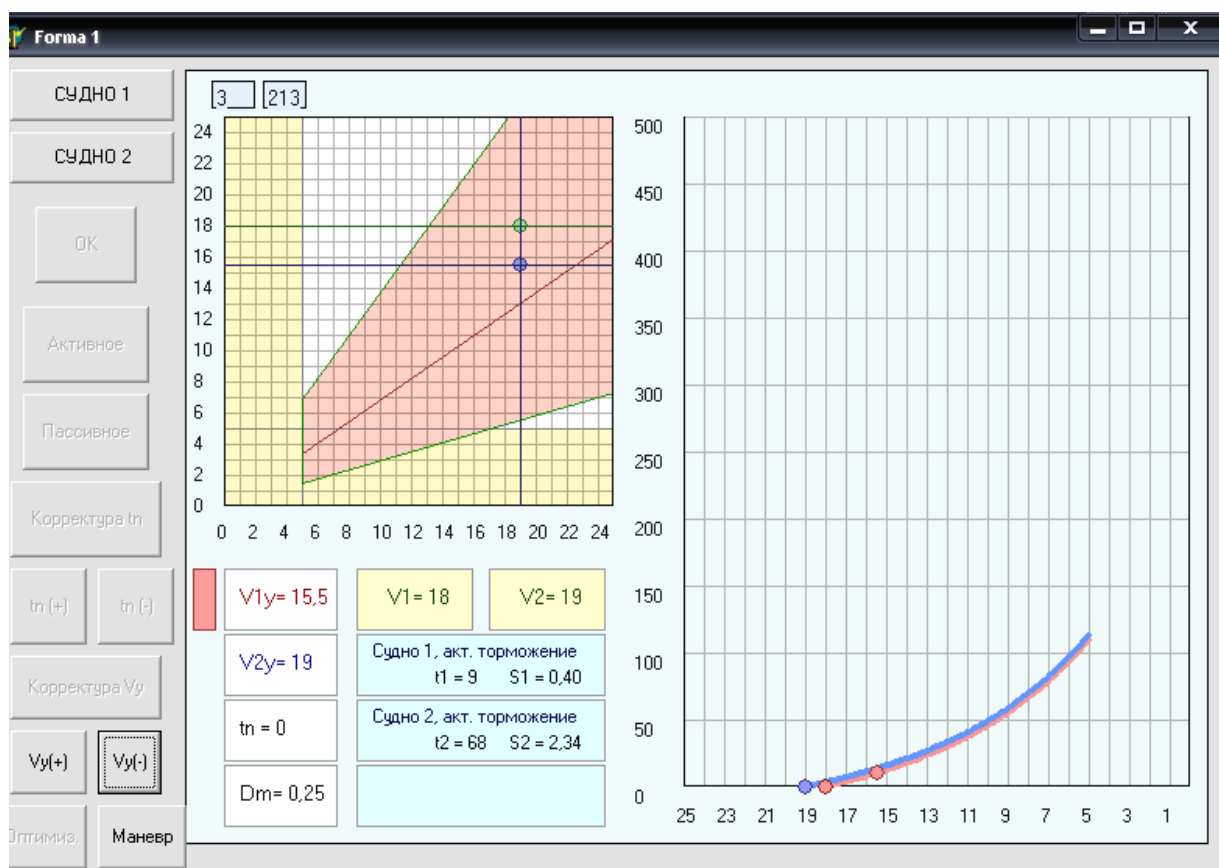


Рис. 5.51. Вибір швидкості розходження і першого судна

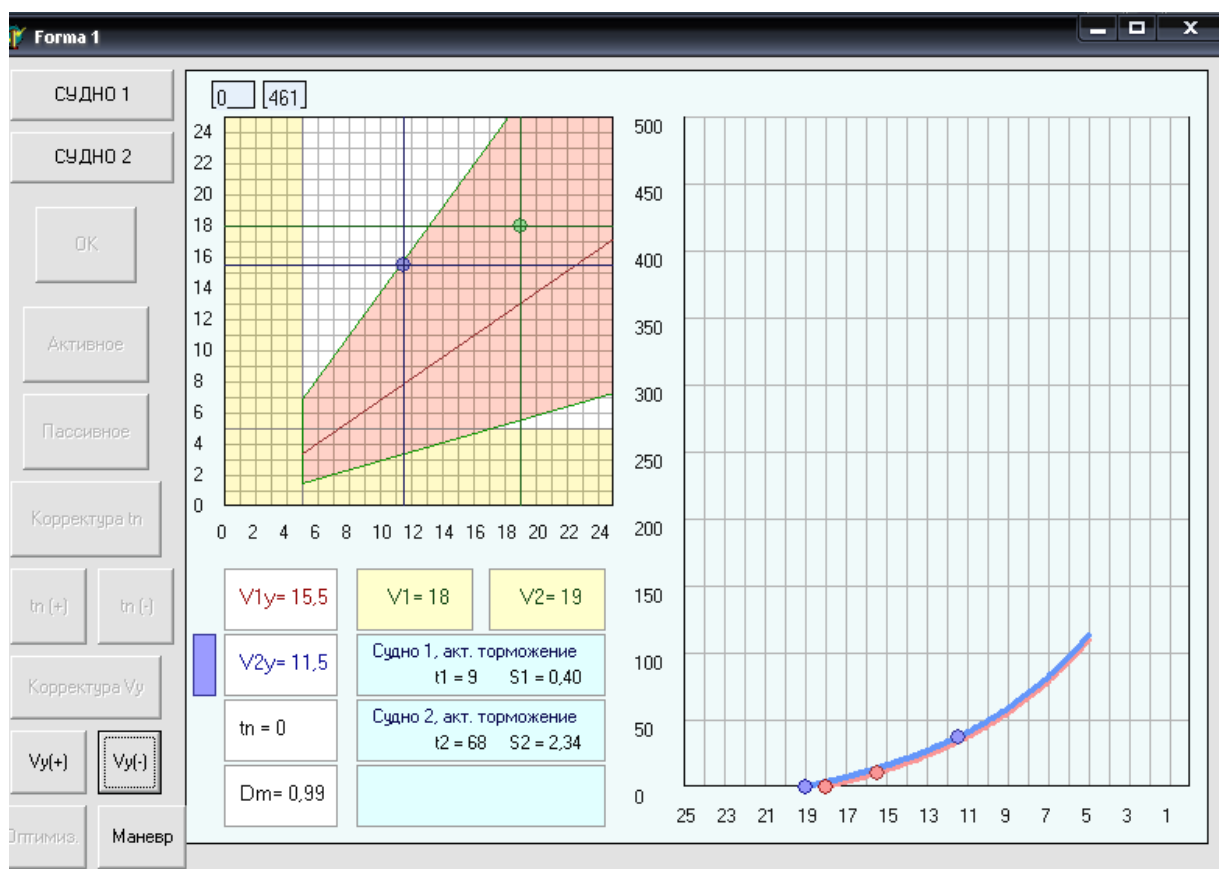


Рис. 5.52. Вибір швидкості розходження другого судна

Програвання одержаного маневру розходження починається із стану, відображеного на рис. 5.53, також виводяться параметри оптимального маневру розходження з швидкостями розходження $V_{2y} = 11,5$ вуз. і $V_{1y} = 15,5$ вуз., з моментом часу початку маневру ухилення $= t_n = 0$ с.

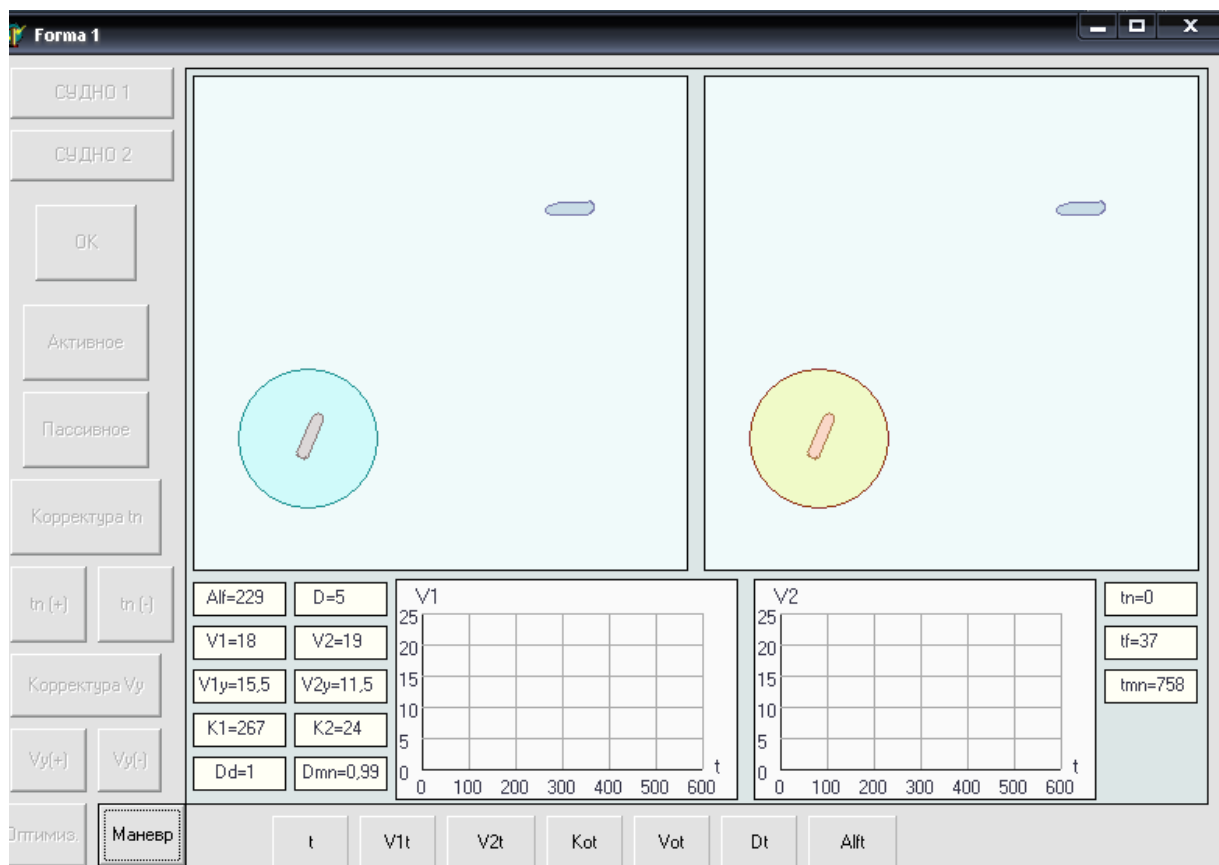


Рис. 5.53. Початковий момент програвання маневру розходження

Оскільки гальмування суден починається в нульовий момент часу, то через 9 с активне гальмування завершує перше судно, швидкість якого знижена до $V_{1y} = 15,5$ вуз. (рис. 5.54), в той час, як друге судно продовжує процес активного гальмування, поки у момент часів 61 с процесу розходження суден швидкість другого судна приймає значення рівне $V_{2y} = 11,5$ вуз., що виходить з рис. 5.55. У цей момент часу друге судно закінчує процес гальмування, а далі обидва судна продовжують зближуватися на понижених швидкостях розходження.

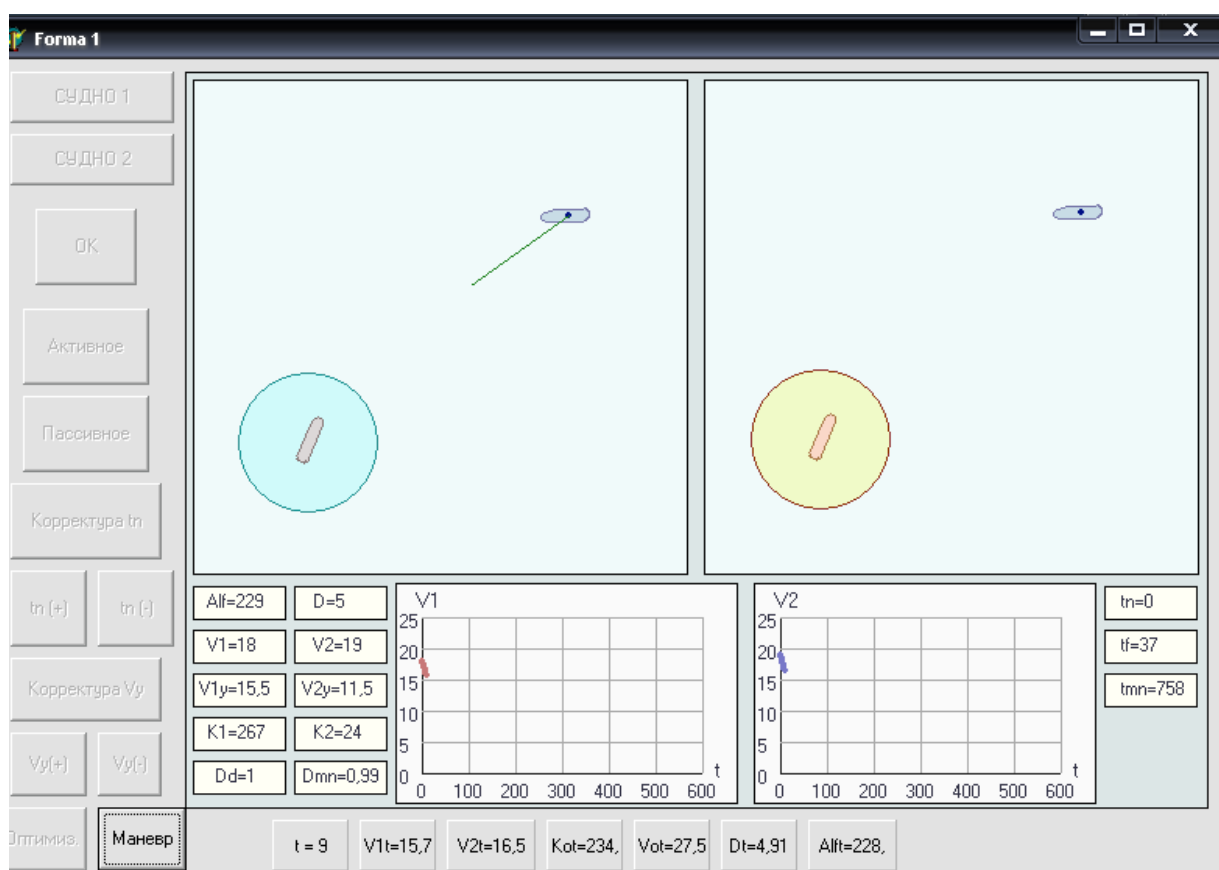


Рис. 5.54. Момент часу $t = 9$ с завершения гальмування першого судна

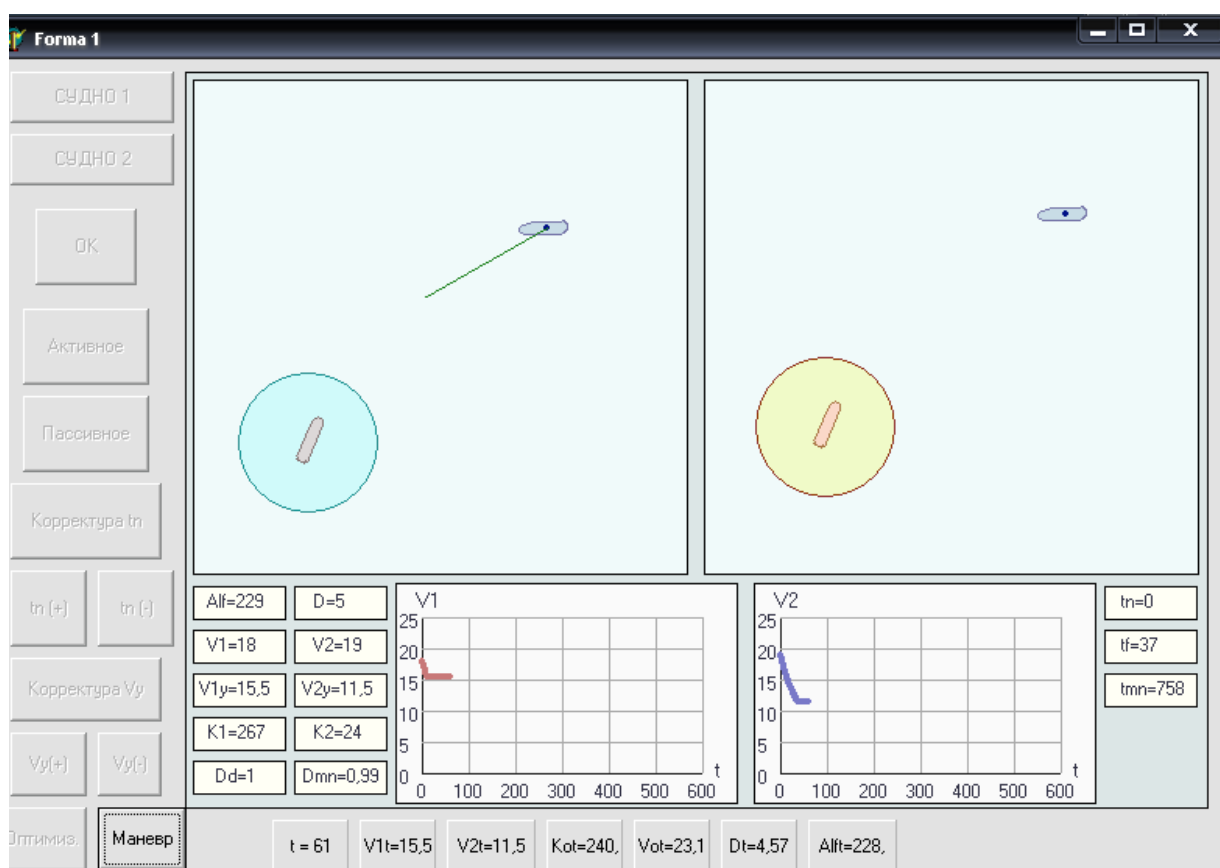


Рис. 5.55. Момент часу $t = 61$ с завершения гальмування другого судна

У момент часу $t=758$ с судна досягають дистанції найкоротшого зближення 0,99 милі, яка рівна гранично-допустимій дистанції, що показано на рис. 5.56.

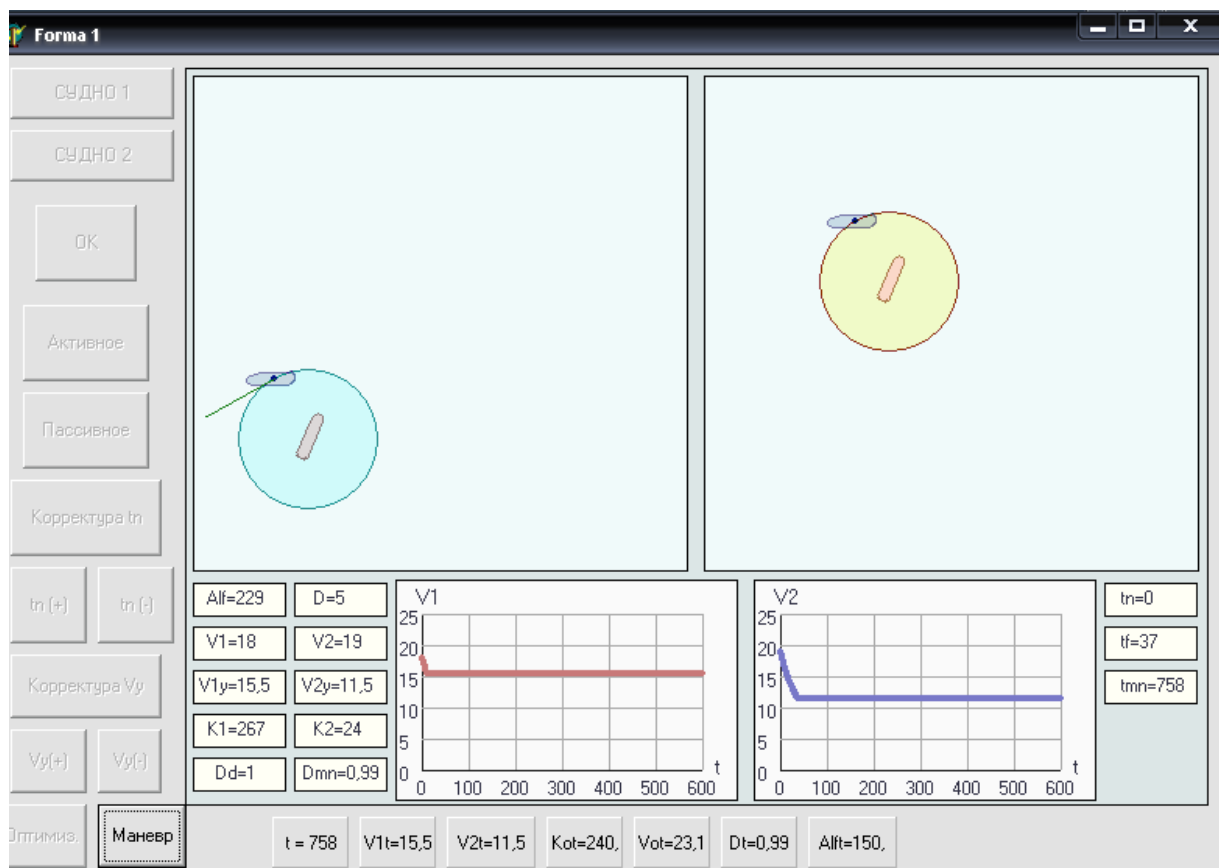


Рис. 5.56. Момент часу $t = 758$ с найкоротшого зближення суден

Завершальна ситуація небезпечного зближення з маневром розходження швидкостей суден різними режимами гальмування при оптимізації маневру розходження швидкостями розходження розглянута із залученням стандартної ситуації 8, характеристики якої проведені на рис. 5.57. Програмою розрахований оптимальний маневр розходження вибором моменту часу початку гальмування $t_n = 126$ с, що виходить з рис. 5.58. За допомогою режиму корекції швидкостей розходження для першого судна вибрана швидкість $V_{1y} = 8,5$ вуз (рис. 5.59), а для другого судна, як видно з рис. 5.60, вибрана швидкість $V_{2y} = 18,5$ вуз.

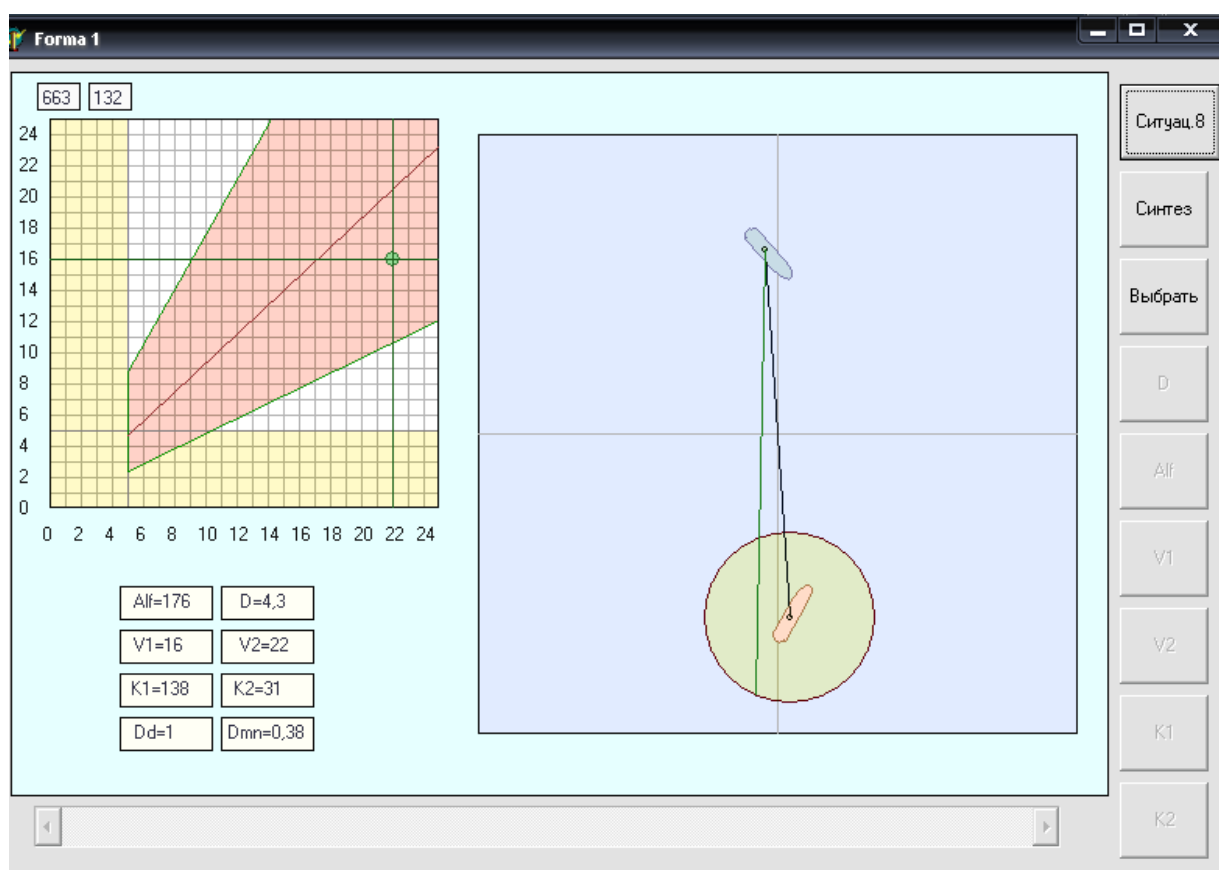


Рис. 5.57. Характеристики небезпечної ситуації 8

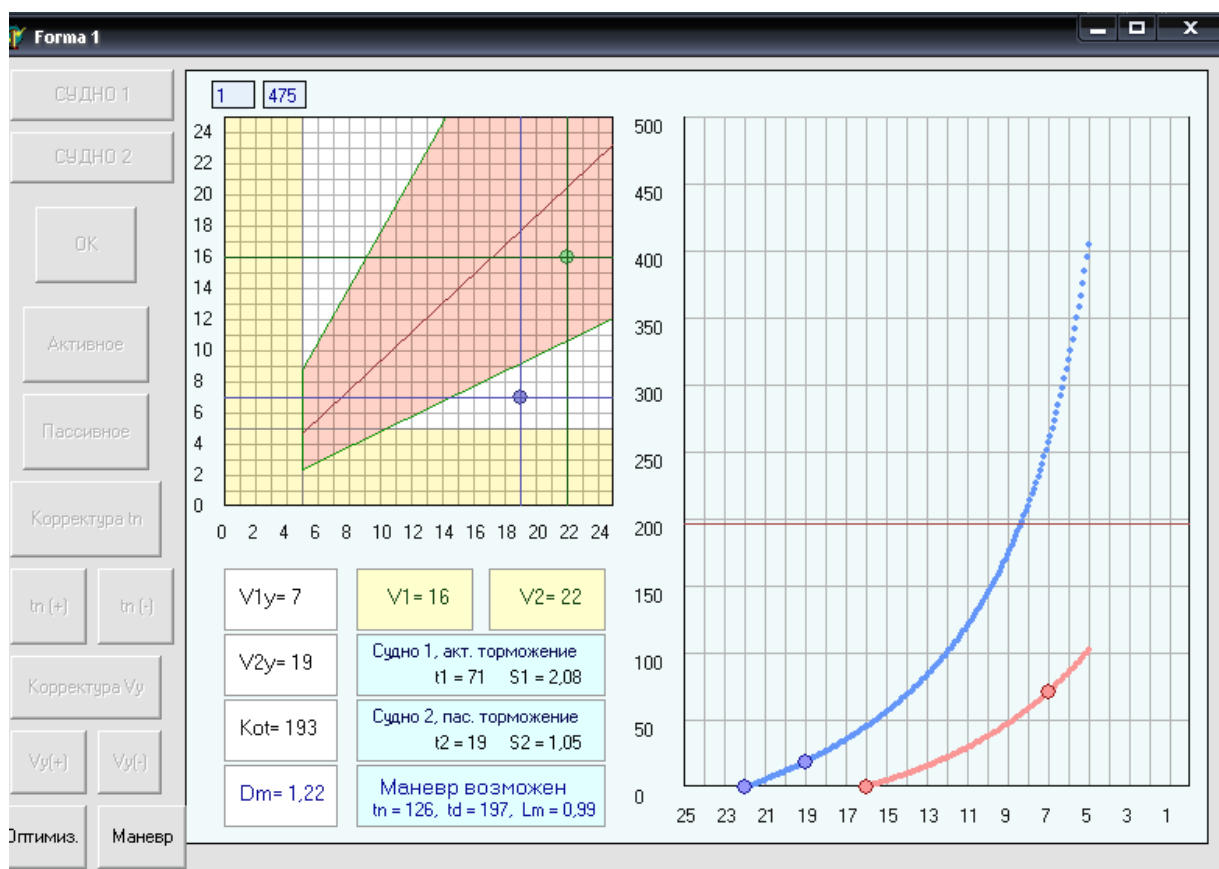


Рис. 5.58. Маневр оптимальної розходження початковим часом

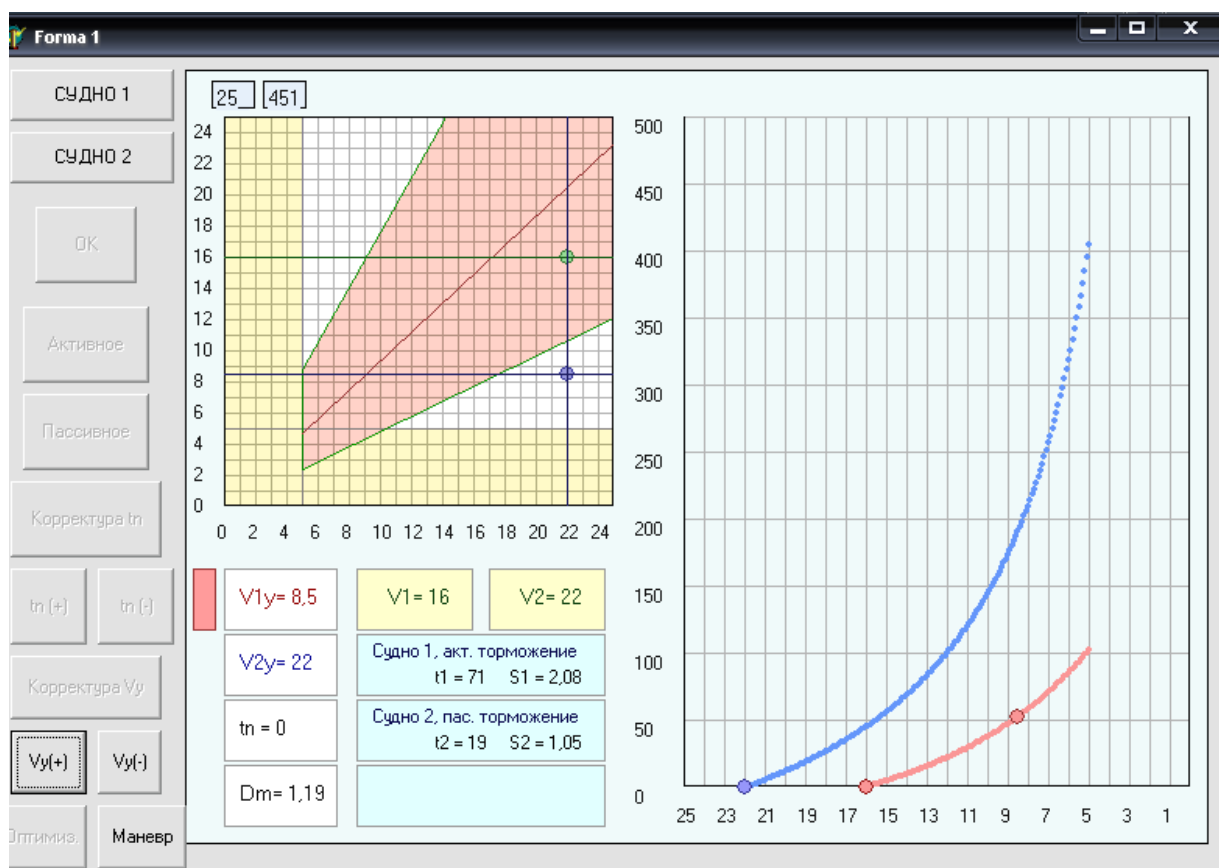


Рис. 5.59. Вибір оптимальної швидкості розходження першого судна

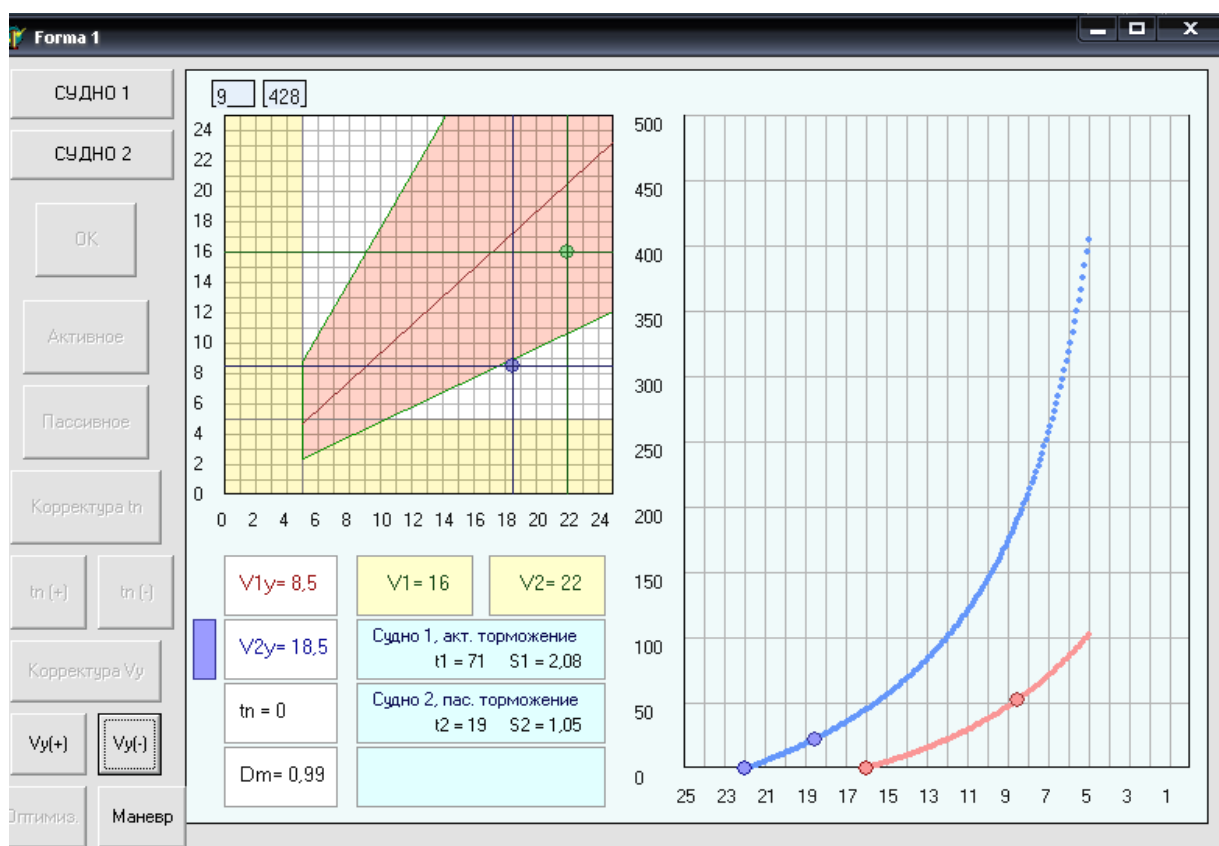


Рис. 5.60. Вибір оптимальної швидкості розходження другого судна

Для вибраного маневру розходження було проведене імітаційне моделювання, причому початковий стан маневру розходження показаний на рис. 5.61.

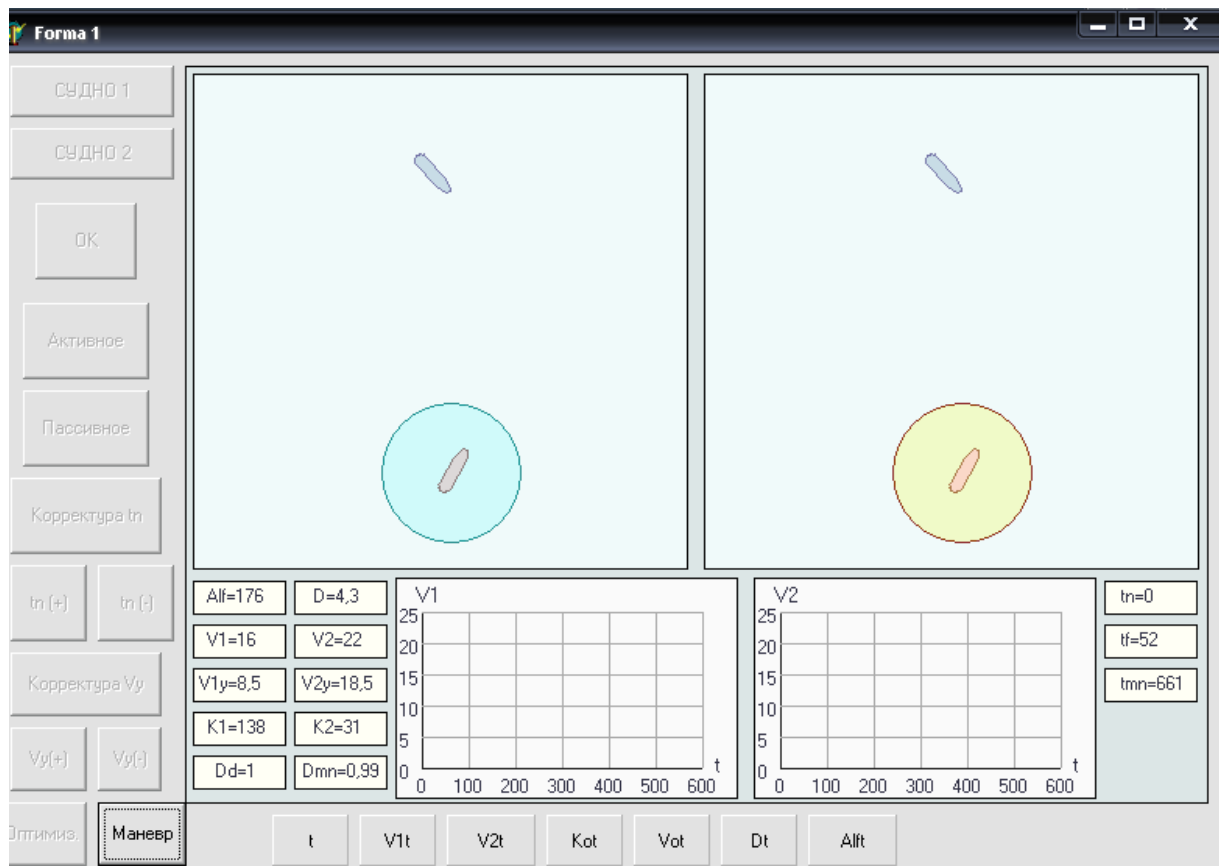


Рис. 5.61. Початковий стан маневру розходження, що програтється

На рис. 5.62 показаний процес розходження у момент часу $t = 23$ с, коли друге судно завершило процес активного гальмування, знизивши свою швидкість до величини $V_{2y} = 18,5$ вуз і надалі продовжуючи слідувати з такою швидкістю, в той час, як перше судно продовжувало пасивне гальмування аж до моменту часу $t = 53$ с, в який його швидкість досягла вибраного значення швидкості розходження $V_{1y} = 8,5$ вуз. Після перехідного процесу обидва судна слідували з постійними значеннями вибраних швидкостей розходження до моменту часу $t = 661$ с найкоротшого зближення, як показано на рис. 5.63. У цей момент часу дистанція найкоротшого зближення 0,99 милі.

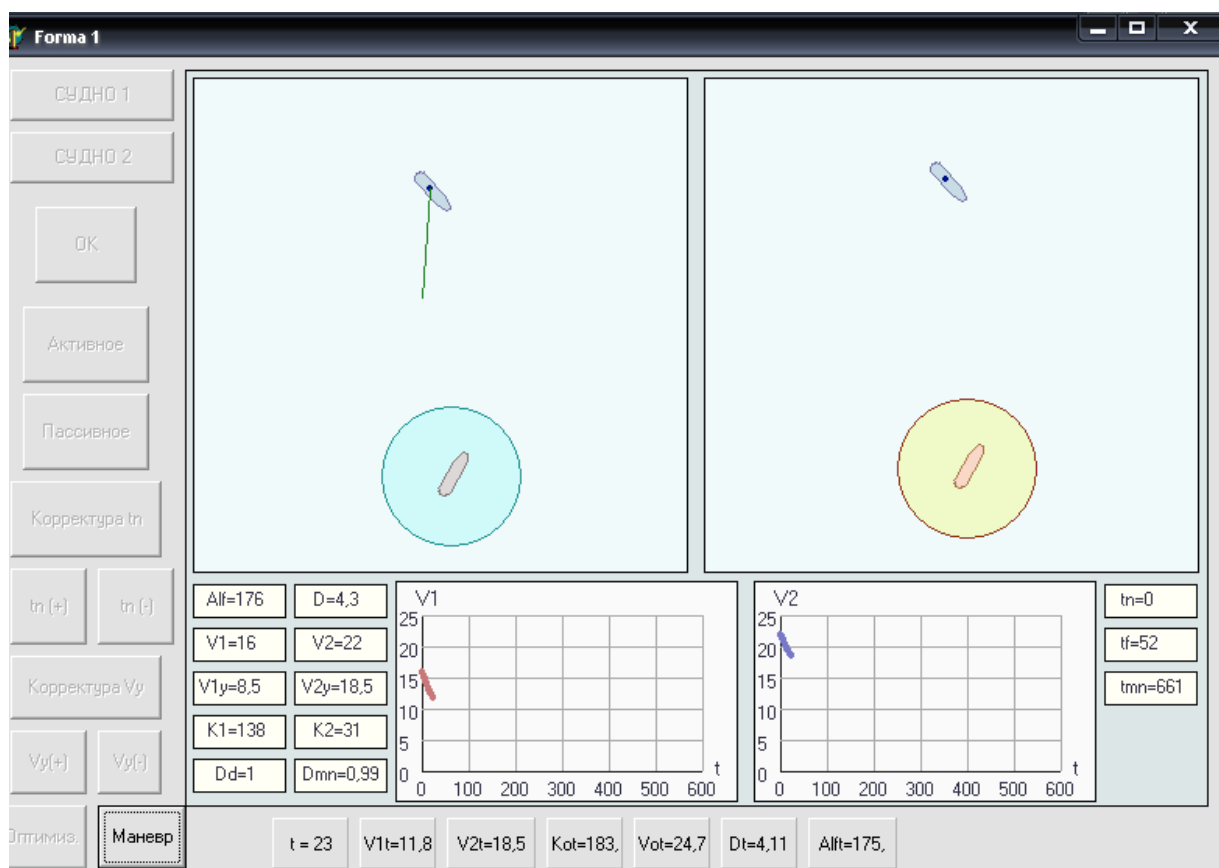


Рис. 5.62. Момент часу $t = 23$ с завершения гальмувания другого судна

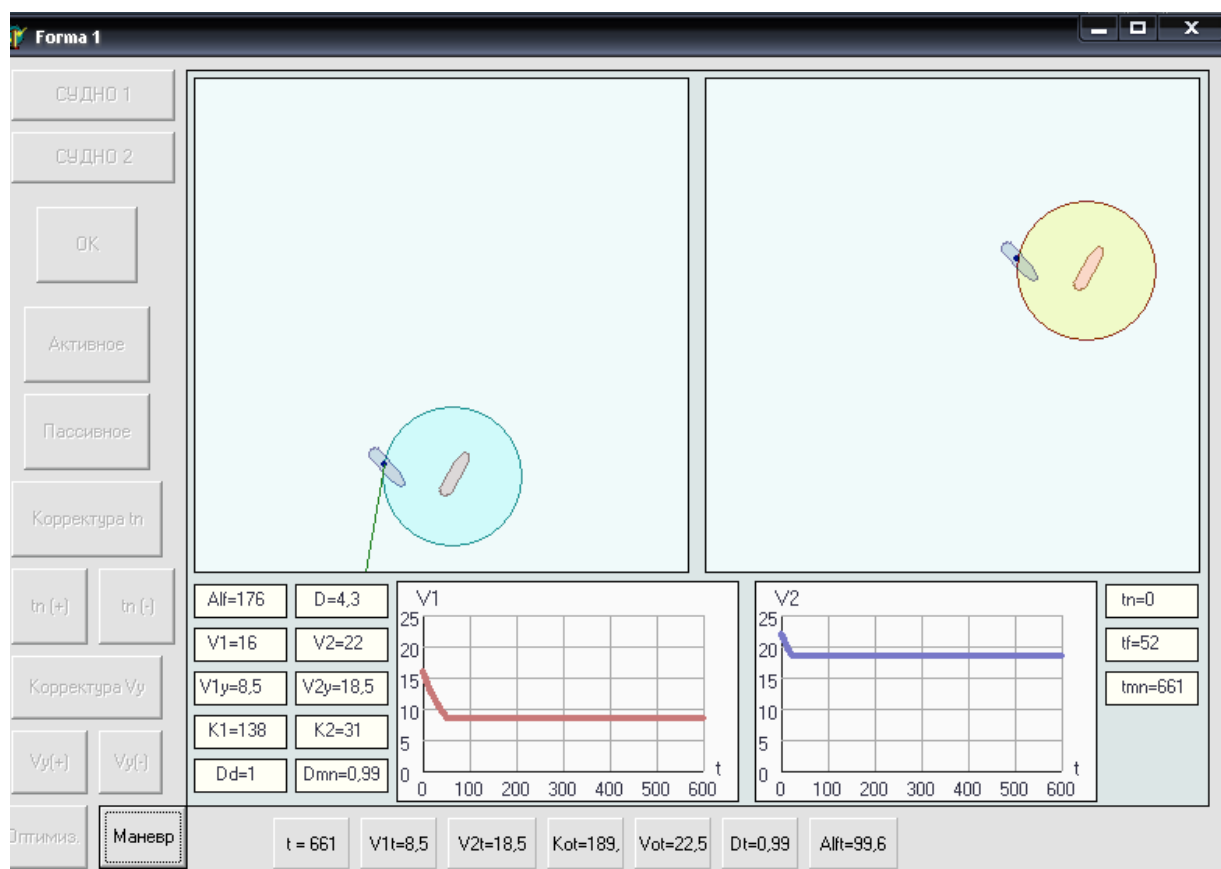


Рис. 5.63. Стан найкоротшого зближення суден

Таким чином, імітаційне моделювання підтвердило коректність запропонованого методу розходження суден зниженням їх швидкостей, використовуючи для вибору маневру область небезпечних швидкостей. Імітаційна комп'ютерна програма має наступну функціональну схему (рис. 5.64):

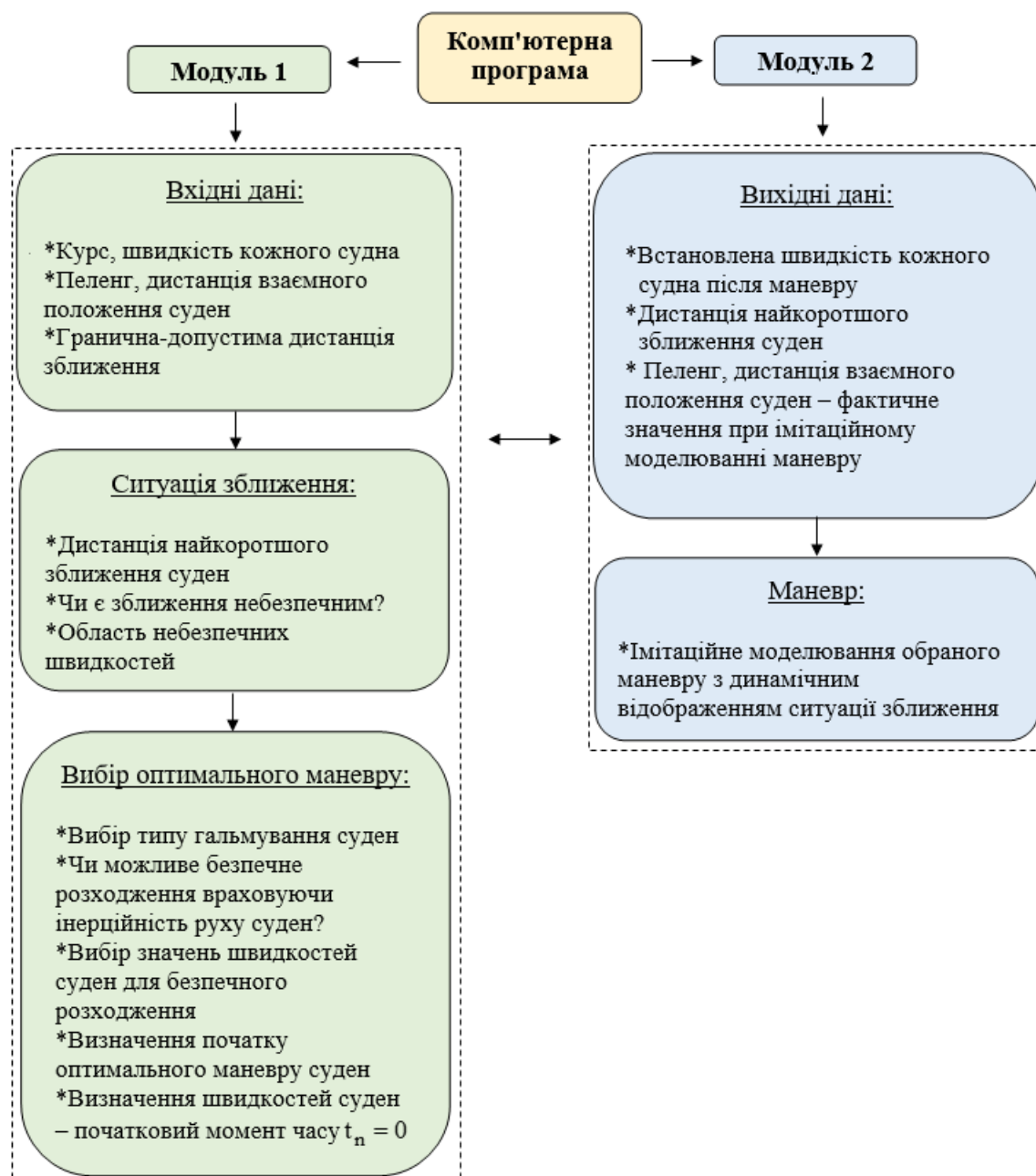


Рис. 5.64. Функціональна схема імітаційної комп'ютерної програми

Також успішно було проведено експериментально-дослідницькі випробування маневру розходження суден зміною швидкості на судні типу

балкер з середньою швидкістю ходу 13.5 вузлів в стислих умовах плавання Сінгапурського проливу. Виконано сімнадцять маневрів з різними значеннями зміни швидкостей вказаного судна для безпечного розходження з іншими судами в умовах, коли зміна курсу власного судна була неможливою через навігаційні перешкоди та курс і швидкість іншого судна були постійними. Практично виконані маневри розходження змінною швидкості та обрані за допомогою розробленого способу в даному дисертаційному дослідженні, використовуючи область небезпечних швидкостей та оптимізацію маневру, були оптимальними за часом та безпечними. Результати вище вказаних експериментальних маневрів наведені на рис.5.65

No	α	D	V_1	V_2	K_1	K_2	D_d	D_m	V_{y2}	D_{min}
1	313	4.5	12	14	019	092	1	0.48	11.6	1.06
K_{ot}	S_2	t_2	t_d	t_n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
327	1.33	38	159	121	пасивний			Успішний (0.06)		
No	α	D	V_1	V_2	K_1	K_2	D_d	D_m	V_{y2}	D_{min}
2	308	4	10	13	011	090	1	0.28	6.1	0.98
K_{ot}	S_2	t_2	t_d	t_n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
337	5.52	227	669	442	пасивний			Успішний (0.02)		
No	α	D	V_1	V_2	K_1	K_2	D_d	D_m	V_{y2}	D_{min}
3	315	3.5	10	13	266	024	1	0.13	5.5	1.05
K_{ot}	S_2	t_2	t_d	t_n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
245	6.28	273	443	170	пасивний			Успішний (0.05)		
No	α	D	V_1	V_2	K_1	K_2	D_d	D_m	V_{y2}	D_{min}
4	305	5	11	13	356	098	1	0.68	7.7	1.09
K_{ot}	S_2	t_2	t_d	t_n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
325	3.81	138	748	610	пасивний			Успішний (0.09)		
No	α	D	V_1	V_2	K_1	K_2	D_d	D_m	V_{y2}	D_{min}
5	307	4.2	13	13	013	080	1	0.71	9.8	1.15

K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
328	2.03	65	687	622	пасивний			Успішний (0.15)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
6	134	4.2	13	12	090	014	1	0.37	5.4	0.90
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
114	5.82	265	401	136	пасивний			Успішний (0.1)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
7	308	4.7	17	13	360	071	1	0.7	7.6	0.95
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
334	3.91	142	780	638	пасивний			Успішний (0.05)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
8	315	3.5	15	14	000	090	1	0.12	6.5	0.89
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
337	5.61	215	283	68	пасивний			Успішний (0.11)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
9	315	4.4	15	13	000	097	1	0.6	7.5	0.98
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
335	4	147	473	326	пасивний			Успішний (0.02)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
10	314	3.7	19	13	000	090	1	0.75	8.8	1.16
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
335	2.82	95	370	275	пасивний			Задовільний (0.16)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
11	302	4.2	14	12	000	067	1	0.56	6.3	1.01
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
333	4.69	196	866	670	пасивний			Успішний (0.01)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
12	315	4.6	15	14	004	103	1	0.82	8.8	1.25

K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
336	3.38	110	629	519	пасивний			Задовільний (0.25)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
13	315	4.7	15	13	357	090	1	0.14	5.2	0.90
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
338	6.69	301	617	316	пасивний			Успішний (0.1)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
14	138	4.6	15	14	091	008	1	0.09	6.3	1.13
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
115	5.84	228	541	313	пасивний			Успішний (0.13)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
15	314	4.3	15	14	007	099	1	0.85	7.1	1.09
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
341	4.76	171	534	302	пасивний			Успішний (0.09)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
16	323	4.8	20	12	360	094	1	0.55	7.1	1.15
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
341	3.81	149	468	319	пасивний			Успішний (0.15)		
No	α	D	V ₁	V ₂	K ₁	K ₂	D _d	D _m	V _{y2}	D _{min}
17	141	4.2	18	14	089	033	1	0.23	8.1	0.93
K _{ot}	S ₂	t ₂	t _d	t _n	Тип гальмування			Результат (Δ)		
115	3.99	136	577	441	пасивний			Успішний (0.07)		

Рис. 5.65 Результати експериментів

D_m – дистанція найкоротшого сближення до маневру;

D_{min} – дистанція найкоротшого сближення після маневру;

Результат - Δ – різниця між допустимою та фактичною дистанцією найкоротшого сближення: до 0,15 – успішний, 0,15-0,3 – задовільний, >0,3 – не задовільний.

5.3. Висновки за п'ятим розділом

У п'ятому розділі представлені результати перевірки коректності отриманого в дисертаційній роботі способу розходження суден зміною їх швидкостей, який заснований на використанні області небезпечних швидкостей. З цією метою була розроблена імітаційна комп'ютерна програма, яка складається з двох основних модулів, що забезпечують вибір оптимального маневру розходження зниженням швидкостей суден при заданій ситуації небезпечного зближення і програвання обраного маневру розходження, внаслідок чого робиться висновок про його коректність.

Наведено докладний опис комп'ютерної імітаційної програми вибору маневру розходження суден зміною їхніх швидкостей з урахуванням інерційно-гальмівних характеристик. Показано, що введення початкової ситуації небезпечного зближення можливе вибором однієї з десяти стандартних ситуацій, які відповідають вимогам існування множини маневрів розходження, або ситуація небезпечного зближення генерується введенням її параметрів. Після вибору початкової ситуації за допомогою першого модуля імітаційної програми визначається оптимальний маневр розходження. Передбачена оптимізація за часом початку гальмування суден або за значеннями швидкостей розходження суден. Процедура вибору оптимального маневру розходження характеризується простотою і оперативністю.

За допомогою другого модуля програми імітаційним моделюванням проведено перевірку коректності отриманих маневрів розходження. З цією метою обирався ряд початкових ситуацій небезпечного зближення, для яких визначалися оптимальні маневри розходження. Потім проводилося програвання отриманих маневрів, аналіз якого показав коректність всіх маневрів, тобто розрахункові значення тривалості перехідних процесів гальмування обох суден, часу і дистанції найкоротшого зближення збіглися зі значеннями, отриманими в результаті програвання маневру для всіх розглянутих випадків.

ВИСНОВКИ

1. Оцінка стану питання. Однією з найважливіших є проблема забезпечення безпеки судноводіння, оскільки від її успішного розв'язання залежить зменшення кількості аварійних випадків, що веде до зниження шкоди людському життю, навколишньому середовищу і майну.

У стислих водах навігаційні перешкоди та інтенсивне судноплавство значно ускладнюють плавання морських суден і створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Саме стислі води облаштовуються станціями управління рухом суден, які в разі потреби забезпечують зовнішнє управління процесом розходження суден у разі виникнення ситуації небезпечного зближення. Тому розробка способів зовнішнього управління суднами, що небезпечно зближуються, чому присвячена дана робота, є актуальним і перспективним науковим напрямом.

2. Формулювання розв'язаного наукового завдання, його значення для науки і практики. У результаті розв'язання головної наукової задачі отримано новий метод вибору оптимального маневру розходження суден зниженням швидкостей, який реалізований у комп'ютерному модулі та відрізняється принципом зовнішнього управління процесом їхнього розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей.

У дисертаційній роботі:

- вперше отримано спосіб вибору оптимального маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей;
- удосконалено спосіб формування області небезпечних швидкостей з розрахунком її меж і графічним відображенням;
- дістала подальшого розвитку процедура визначення можливостей існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей.

3. Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Основні теоретичні і практичні результати, отримані в дисертації, можуть бути використані не лише на судах, а також – розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління процесом розходження судна, та в процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісним показником результатів дисертаційної роботи є можливість підвищення вірогідності попередження зіткнень суден методами зовнішнього управління їх процесу розходження. Мінімізація втрат ходового часу на маневр запобігання зіткненням є кількісним показником.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів.

Коректна розробка математичних моделей та їх застосування, а також матеріали, отримані при імітаційному моделюванні отриманих теоретичних результатів дослідження, підтверджують достовірність результатів дисертаційної роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Першиц Р.Я. Управляемость и управление судном / Першиц Р.Я. - Л. : Судостроение, 1983.- 272 с.
2. Демин С.И. Торможение судна / Демин С.И.– М. : Транспорт, 1975.– 81с.
3. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / Кондрашихин В.Т. – М. : Транспорт, 1969. – 256 с.
4. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
5. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса : Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
6. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.
7. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. – Одесса : Латстар, 2002. - 310 с.
8. Сизов В.Г. Теория корабля /Сизов В.Г. – Одесса: Феникс, 2003.– 282 с.
9. 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.
10. 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.
11. Цаллагов Х.- Б.Н. Аналитические методы определения безопасных курсов и скоростей судов / Цаллагов Х.- Б.Н. // Теоретические вопросы построения АСУ крупнотоннажными транспортными судами. - М. : Наука, 1978. - С. 83-93.
12. 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.

13. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / Куликов А. М., Поддубный В. В. // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.

14. Поддубный В. В. Метод возможных направлений в задачах безопасного расхождения судов / Поддубный В. В., Куликов А. А. /ВИНИТИ. – М. , 1987. – 21 с. – Рус. Деп. // Анот. в ж. «Водный транспорт», №2, 1987.

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

16. Кудряшов В. Е. Математическая модель процесса расхождения нескольких управляемых объектов / Кудряшов В. Е. // Известия ЛЭТИ. - 1976. - № 206. - С. 15-19.

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

18. Кудряшов В. Е. Разработка и исследование алгоритма управления движением судов для предотвращения столкновений в процессе расхождения с несколькими опасными объектами./ Кудряшов В. Е. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.16 / Лен. гос. мор. акад. – Л., 1976. –23 с.

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

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

21. Павлов В.В. Проблемы построения многоцелевой эргатической системы предупреждения столкновений морских судов / Павлов В.В., Баранов В.Л., Положенцев И.А. // Автоматика. – 1980. - № 2. - С. 73-76.

22. Павлов В.В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов / Павлов В.В., Сеньшин Н.И. // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. - № 68. - С. 43-45.

23. Сафин И. В. Условия существования безопасных маневров расхождения / Сафин И. В. // Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 158 – 163.

24. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / Сафин И.В. // Автоматизация судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.

25. Сафин И.В. Анализ результатов имитационного моделирования процесса расхождения судов / Сафин И.В. // Судовождение. - №6 - 2003. – С. 122-129.

26. 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.

27. Сафин И.В. Расчет граничных значений параметров множества допустимых маневров расхождения / Сафин И.В. // Судовождение. - №4. - 2002. – С. 95 – 100.

28. Степаненко В. В. Формализация контроля текущей ситуации и принятия решений по управлению ею / Степаненко В. В.// Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 177– 185.

29. Степаненко В. В. Эффективность оценки параметров ситуации опасного сближения судов / Степаненко В. В. // Судовождение. - 2000. - № 2. - С. 201 – 209.

30. Степаненко В.В. К вопросу отображения ситуации расхождения судов / Степаненко В.В. // Судовождение. - № 4. - 2002. – С. 101 – 106.

31. Степаненко В.В. Усовершенствование методов оценки ситуации расхождения судов: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.16 «Судовождение»/ Степаненко В.В. – Одесса, 2004. – 24 с.

32. Бурмака И.А. Учет динамики судна при выборе маневра расхождения / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2002. - №4. – С. 32- 36.

33. Бурмака И.А. Учет инерционности судна при расчете момента времени завершения маневра расхождения / Бурмака И.А. // Судовождение. - № 5. - 2002. – С. 13 – 21.

34. Бурмака И.А. Применение численных методов для расчета времени начала уклонения судна при расхождении / Бурмака И.А. // Судовождение. - 2003. - № 6. – С. 27-31.

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

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

37. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. - №10. – С. 21 – 25.

38. 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.

39. Петриченко Е.А. Учет линейной навигационной опасности при расхождении судов / Петриченко Е.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2003. – №8. – С. 72-76.

40. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103-107.

41. Петриченко Е.А. Описание навигационных опасностей в задаче расхождения судов / Петриченко Е.А. // Судовождение. - 2002. - №5. – С. 89-95.

42. 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.

43. Lisowski J. Mathematical modeling of a safe ship optimal control process/ Lisowski J. // Polish Journal of Environmental Studies. – 2005. - Vol. 14. – P. 68-75.

44. 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.

45. 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.

46. 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, page 251-256, 2016.

47. 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, page 376-381, 2016.

48. 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.

49. 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, page 69-77, 2014.

50. Hornauer S. Trajectory Planning with Negotiation for Maritime Collision Avoidance / Hornauer S., Hahn A., Blauch M., Reuter J. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 3, page 335-341, 2015.

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

52. 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.

53. 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.

54. 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.

55. 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.*

56. 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.*

57. 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.

58. 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.

59. Букатый В. М. Критерии нетрадиционного подхода к выяснению ситуации сближения судов /Букатый В. М., Морозова С. Ю. // *Управление безопасностью мореплавания и подготовка морских специалистов SSN/2007: Материалы 6 Международной конференции, Калининград, 9-11 окт., 2007. Калининград: БГАРФ 2007, с. 33-43.*

60. Волков А.Н. Формирование безопасной области в судовых системах навигационной информации / Волков А.Н. // *Проблемы техніки: Науково-виробничий журнал. - 2013. № 4. – С 52 - 56.*

61. Волков А.Н. Отображение зоны безопасности судна на электронной карте/ Волков А.Н. // *Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013, – С 40 - 45.*

62. Бурмака И.А. Совершенствование технологии управления движением судов в районах контроля СУДС / Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 21-23 травня 2014 р. – Миколаїв : МУК, 2014. – С. 40–42.

63. 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.

64. Бурмака И.А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов/ Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Автоматизация судовых технических средств. – 2014. – № 20. – С. 18 – 23.

65. Булгаков А.Ю. Выбор допустимого маневра расхождения двух судов с помощью использования опасной области их курсов / Булгаков А.Ю.// Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2014): Матеріали VI Міжнародної наук.-практ. конф., 27-29 травня. 2014 – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 103–106.

66. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / Булгаков А.Ю., Алексейчук Б.М.// Проблемы техники: Научно-производственный журнал. - 2014. №1 . – С. 75 - 81.

67. Булгаков А.Ю. Выбор маневра расхождения судов изменением курсов в системах управления движением судов/ Булгаков А.Ю., Пятаков Э.Н.// Проблемы техники: Научно-производственный журнал. - 2014. №4 . – С 153 - 164.

68. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9 - 13.

69. Бурмака И.А. Выбор оптимального вектора управления судами изменением курсов для безопасного расхождения / Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Автоматизация судовых технических средств. – 2015. – № 21. – С. 18 – 23.

70. Бурмака И.А. Условие существования множества маневров расхождения судов изменением скоростей / Бурмака И.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, - 2017. - Вып. 27. – С. 32 – 37.

71. Бурмака И.А. Выбор безопасного курса судна с учетом его инерционности при использовании областей опасных курсов / Бурмака И.А.// Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 17 – 21.

72. Копанский С. В. Графический способ оценки значения ситуационного возмущения / Копанский С. В., Волков Е. Л.// Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 67 – 61.

73. Кулаков М. А. Использование областей опасных скоростей для выбора маневра расхождения судов / Кулаков М. А., Калиниченко Г.Е., Петриченко Е. А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 62 – 65.

74. Пятаков Э. Н. Формирование системы бинарной координации судов с учетом закона необходимого разнообразия Эшби / Пятаков Э. Н. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 75 – 78.

75. Кулаков М. А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов / Кулаков М. А. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 27. – Одесса : «ИздатИнформ», 2016 - С.

76. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А., Калиниченко Г. Е., Кулаков М. А. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 71.

77. 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 - 28.

78. Лукомский Ю. А. Общие закономерности и специфические особенности в математических моделях морских подвижных объектов /

Лукомский Ю. А., Стариченков А. Л. // Гирскопия и навигация. - 1997. - № 2. - С. 44-52.

79. Чапчай Е.П. Экспериментальное исследование моделей поворотливости судна / Чапчай Е.П. // Судовождение. – 2006. - № 11. – С. 139 – 142.

80. Чапчай Е.П. Учет времени перекладки пера руля при повороте судна/ Чапчай Е.П. // Судовождение. – 2005. - № 9. – С. 110 – 113.

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

82. 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.

83. Саленек В. В. К определению связи между углом дрейфа и безразмерной угловой скоростью на установившейся циркуляции / Саленек В. В. // Новосиб. гос. акад. вод. трансп. Судовожд.: управляемость, упр., навигация. обуч. - Новосибирск. - 1999, с. 17-18.

84. Дмитриев С.П. Обоснование возможности использования линейно-квадратичного подхода при стабилизации судна на траектории/Дмитриев С.П., Пелевин А.Е. // Гирскопия и навигация. - 1997. - № 4. - С. 65-82.

85. Гуцма С.Ф. Моделирование движения судов в узкостях и при швартовках / Гуцма С.Ф. // Сб. науч. тр. Балт. гос. акад. рыбопромысл. флота.- 1997.- № 16. - С. 85-91.

86. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы/ Вагущенко Л.Л. - Одесса : Феникс, 2004. - 302 с.

87. 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.

88. 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, 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. 125-130.

89. Paulauskas V. External forces influence on ships steering in extreme conditions /Paulauskas V., Paulauskas D., Steenberg C. M. Transport Means 2006: Proceedings of the 10 International Conference, Kaunas, Oct. 19-20, 2006. Kaunas: Technologija. 2006, p. 158-160.

90. 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.

91. 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.

92. 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.

93. 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.

94. 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.

95. 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.

96. 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.

97. 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.

98. Gerigk M. An Integrated Model of Motion, Steering, Positioning and Stabilization of an Unmanned Autonomous Maritime Vehicle/ Gerigk M., Wójtowicz S.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 4, page 591-596, 2015.

99. Широков В. М. Распределение погрешностей обсервации при использовании методов корреляционной навигации / Широков В. М. // Судовождение. - 2003. - № 6.- С. 154-158.

100. Широков В. М. Результаты имитационного моделирования обсерваций судна в стесненных условиях / Широков В. М. // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 103 – 107.

101. Ракитин В. Д. Концептуальные положения стратегии использования системы ГЛОНАСС в интересах потребителей речного флота, включая дифференциальный режим / Ракитин В. Д., Сикарев А. А. // Управление и информационные технологии на транспорте: Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Транском - 99". Санкт-Петербург, 1999. - СПб: Изд-во СПбГУВК. – 1999. - С. 24-26.

102. Ракитин В. Д. Методика подготовки библиотеки маршрутов для использования на ВВП дифференциальных подсистем ГЛОНАСС/GPS / Ракитин В. Д., Вуполов А. Г. // Управление и информационные технологии на транспорте: Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Транском - 99", Санкт-Петербург, 1999. - СПб: Изд-во СПбГУВК. - 1999. - С. 98-100.

103. Ткаченко А.С. Применение обобщенных пуассоновских распределений для описания навигационных погрешностей / Ткаченко А.С., Алексишин В.Г. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 93 – 99.

104. Кондрашихин В.Т. О погрешностях измерений/ Кондрашихин В.Т. // Геодезия и картография.– 1977. – № 5. – С. 11-16.

105. 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.

106. Кондрашихин В.Т. Зависимость между точностью и надежностью навигации / Кондрашихин В.Т. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1973. – Вып. 173. – С. 41-49.

107. Иванов Б. Е. О влиянии неопределенности положения кромок фарватера на вероятность навигационной безопасности плавания / Иванов Б. Е., Батуев А. Н. // Навигация и гидрогр. 2004, № 19, с. 35-40.

108. 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.

109. 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.

110. Жидков Э. М. Анализ и обоснование требований к точности судовождения / Жидков Э. М., Павликов С. Н., Верещагин С. А. // Науч. тр. Дальневост. гос. техн. рыбохоз. ун-т. – 2000. - № 13. - С. 197-208.

111. 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.

112. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Мельник Е.Ф. // Судовождение. - 2002. – № 5. – С. 65 – 73.

113. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.

114. Кондрашихин В.Т. Зависимость между точностью и надежностью навигации / Кондрашихин В.Т. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1973. – Вып. 173. – С. 41-49.

115. Кондрашихин В.Т. Определение наиболее вероятного значения повторяющейся ошибки / Кондрашихин В.Т., Якшевич Е.В. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1972. – Вып. 157. – С. 41-49.

116. Кондрашихин В.Т. О погрешностях измерений / Кондрашихин В.Т.// Геодезия и картография.– 1977. – № 5. – С. 11-16.

117. 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.

118. Kubo Masayoshi. Safety evaluation of ship entering a harbor under severe wave conditions / Kubo Masayoshi, Mizui Shinji, Inoue Kazuhiro. // The Proceedings of the Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle. May 28-June 2, 2000. Vol. 4. Cupertino (Calif): Int. Soc. Offshore and Polar Eng. – 2000. - P. 330-336.

119. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. – Saarbrucken, Deutschland / Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.

120. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 35-41.

121. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения / Бурмака И.А., Пасечнюк С. С., Кулаков М. А. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 - 80.

122. Кулаков М. А. Выбор оптимальных скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения / Кулаков М. А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 51-57.

123. 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.

124. Бурмака И.А. Использование областей опасных скоростей для расхождения судов в стесненных условиях / Бурмака И.А., Кулаков М.А.// Морські перевезення та інформаційні технології в суднопластві: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 115–117

125. М. А. Кулаков. Определение маневра расхождения с помощью области опасных скоростей судов/Кулаков М.А.// Річковий та морський транспорт: інфраструктура, суднопластво,перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 123–125.

126. Калиниченко Г. Е. Анализ условия сближения судов / Калиниченко Г. Е., Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон : ХДМА, 2016. – С. 122–125.

127. Кулаков М.А. Применение области опасных скоростей судов для выбора маневра расхождения / Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали ІХ Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон : ХДМА, 2017. – С. 122–125.

128. 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.

129. Бужбецкий Р.Ю. Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения /Бужбецкий Р.Ю., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С.

130. Бурмака И.А. Определение области курсов двух судов, обеспечивающих безопасное расхождение/ И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков //Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2014. – выпуск 2 (7). – С. 17 - 20.

131. Тюпиков Е.Е. Зависимость момента начала маневра расхождения изменением скорости от инерционных характеристик судна / Тюпиков Е.Е., Цымбал Н.Н. // Судовождение: Сб. научн. трудов.- Вып. 14/ ОНМА,– Одесса: Издатинформ, 2007 – С. 130 – 135.

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

ДОДАТОК А.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ТА ВІДОМОСТІ ПРО
АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения/ Бурмака И.А., Калиниченко Г. Е., Кулаков М. А.// Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 71.

2. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения/Бурмака И.А., Пасечнюк С. С., Кулаков М. А.// Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 - 80.

3. 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.

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

5. Кулаков М. А. Использование областей опасных скоростей для выбора маневра расхождения судов/ Кулаков М. А., Калиниченко Г.Е., Петриченко Е. А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 62 – 65.

6. Кулаков М. А. Выбор оптимальных скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Кулаков М.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. .

7. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 35-41.

8. Кулаков М. А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов/ Кулаков М. А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С.

9. Бужбецкий Р.Ю. Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения/Бужбецкий Р.Ю., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С.

10. Бурмака И.А. Использование областей опасных скоростей для расхождения судов в стесненных условиях/ Бурмака И.А., Кулаков М.А.// Морські перевезення та інформаційні технології в суднопластві: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 115–117

11. М. А. Кулаков. Определение маневра расхождения с помощью области опасных скоростей судов/Кулаков М.А.// Річковий та морський транспорт: інфраструктура, суднопластво,перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 123–125.

12. Калиниченко Г. Е. Анализ условия сближения судов / Калиниченко Г. Е., Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 122–125.

13. Кулаков М.А. Применение области опасных скоростей судов для выбора маневра расхождения / Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 122–125.

14. 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.

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 «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» (Одеса, 19-20 листоп. 2015 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопада 2016 р.), VIII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (Херсон, 24-26 травня 2016 р.), IX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.).

ДОДАТОК Б.

Акти впровадження результатів дисертації

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в приватному вищому навчальному закладі «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» одержали упровадження в навчальний процес наступні результати дисертаційної роботи Кулакова Максима Олександровича на тему „Розробка способу вибору маневру розходження зміною швидкостей суден при їх зовнішньому управлінні”:

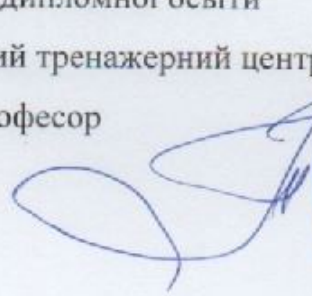
- спосіб формування області небезпечних швидкостей;
- метод вибору оптимального маневру розходження зниженням швидкостей суден.

Директор

Інституту післядипломної освіти
«Одеський морський тренажерний центр»,

к. т. н., професор

27.03.2018 р.



Пашенко Ю.В.

А К Т ВПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в компанії V. Ships одержав упровадження метод вибору оптимального маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей, який розроблено в дисертаційній роботі Кулакова Максима Олександровича на тему „Розробка способу вибору маневру розходження зміною швидкостей суден при їх зовнішньому управлінні”.

Метод використовується при перепідготовці судноводіїв компанії.

Сафін І.В.



Директор ДП «В.Шіпс Україна»,
к.т.н., професор, к.д.п

10.04.2018 р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор НУ „ОМА”

професор Шемякін О.М.

2018 р.

25.04.2018

А К Т

про використання результатів дисертаційної роботи здобувача Кулакова Максима Олександровича на тему «Розробка способу вибору маневру розходження зміною швидкостей суден при їх зовнішньому управлінні» у навчальному процесі університету.

Ми, що нижче підписалися, начальник навчального відділу Пархоменко М. М., декан факультету Морських перевезень та технологій к. т. н., доцент Ворохобін І. І., і завідуючий кафедрою Управління судном к. т. н., доцент Бурмака І.О. склали цей акт в тому, що результати кандидатської дисертації здобувача Кулакова Максима Олександровича на тему «Розробка способу вибору маневру розходження зміною швидкостей суден при їх зовнішньому управлінні» впроваджені у навчальний процес в дисциплінах кафедри Управління судном.

Начальник навчального
відділу

Пархоменко М. М.

Декан факультету Морських перевезень
та технологій, к. т. н., доцент

Ворохобін І. І.

Завідуючий кафедрою Управління судном,
к. т. н., доцент

Бурмака І. О.

ДОДАТОК В.

Фрагмент лістингу імітаційної програми

```

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);    {CREATE}
label 1;
var
i,j,R,y : word;
sig,sigx,sigy,Pr : real;
i1,i2 : byte;
Nm,Ind : byte;
StS,StB : string[4];

Vo,Vy,{Alf,D,Dd,}gamb,gamn,Snb,Snn,V1b,V1n,Sns : real;
Vc2,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2 : word;
Gr,Gr1: BPt;

begin
PortsBmp := TBitmap.Create;
PortsBmp.Width:=800;
PortsBmp.Height:=600;

{PortsBmp.LoadFromFile('3201.BMP');}

CopyBmp := TBitmap.Create;
CopyBmp.Width:=800;
CopyBmp.Height:=600;

HoldBmp := TBitmap.Create;
HoldBmp.Width:=800;
HoldBmp.Height:=600;

MapBmp := TBitmap.Create;
MapBmp.Width:=800;
MapBmp.Height:=600;

Ports1Bmp := TBitmap.Create;
Ports1Bmp.Width:=800;
Ports1Bmp.Height:=600;

Copy1Bmp := TBitmap.Create;
Copy1Bmp.Width:=800;

```

```

Copy1Bmp.Height:=600;

Image2.Visible:=False;

Form1.Top:=0;
Form1.Left:=0;

IndOK:=1;    V1:=18;  V2:=21;{!!!!!!!!!!!!!!}  IndVs1:=0;  IndVs2:=0;
OkVs1:=0;
OkVs2:=0; V1min:=5; V2min:=5; IndTimer:=0;

ColorRect(PortsBmp,Image3,0,0,705,465,RGB(230,255,255),0);

with Image3.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

Brush.Style:=bsClear;

ColorRect(PortsBmp,Image3,25,30,275,280,RGB(255,255,255),0);
Font.Size:=8;
Brush.Style:=bsClear;

for i:=0 to 12 do
begin
Str(2*i,StS);
TextOut(5,273-20*i,StS);
end;
for i:=0 to 12 do
begin
Str(2*i,StS);
TextOut(20+20*i,290,StS);
end;
{TextOut(6,45,'25');}
for i:=1 to 24 do
ColorLine(PortsBmp,Image3,26,280-10*i,274,280-
10*i,RGB(180,180,180),1,0);
for i:=1 to 24 do

ColorLine(PortsBmp,Image3,25+10*i,31,25+10*i,279,RGB(180,180,180),1,0);
end;

```



```

ColorRect(PortsBmp,Image3,300,40,685,425,RGB(225,235,255),0);
ColorLine(PortsBmp,Image3,300,232,685,232,RGB(180,180,180),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image3,492,40,492,425,RGB(180,180,180),1,0);

```

```

{ScrollBar1.Visible:=True;
ScrollBar1.Max:=60;
ScrollBar1.Min:=0;
ScrollBar1.Position:=0;}

```

```

Ports1Bmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
Image3.Canvas,Rect(25,30,275,280));

```

```

Copy1Bmp.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,705,465),
Image3.Canvas,Rect(0,0,705,465));

```

```

Image1.Visible:=False;

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image1,0,0,657,497,RGB(240,250,250),0);

```

```

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

```

```

Brush.Style:=bsClear;

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image1,25,30,275,280,RGB(255,255,255),0);
Font.Size:=8;
Brush.Style:=bsClear;

```

```

for i:=0 to 12 do
begin
Str(2*i,StS);
TextOut(5,273-20*i,StS);
end;
for i:=0 to 12 do
begin
Str(2*i,StS);
TextOut(20+20*i,290,StS);
end;
{TextOut(6,45,'25');}
for i:=1 to 24 do

```

```

    ColorLine(PortsBmp,Image1,26,280-10*i,274,280-
10*i,RGB(180,180,180),1,0);
    for i:=1 to 24 do

ColorLine(PortsBmp,Image1,25+10*i,31,25+10*i,279,RGB(180,180,180),1,0);

    ColorRect(PortsBmp,Image1,320,30,645,460,RGB(240,250,250),0);
    for i:=0 to 10 do
        begin
            Str(50*i,StS);
            TextOut(288,460-43*i,StS);
        end;
    for i:=0 to 12 do
        begin
            Str(25-2*i,StS);
            TextOut(315+26*i,472,StS);
        end;
    {TextOut(288,30,'1000');}
    for i:=1 to 24 do

ColorLine(PortsBmp,Image1,320+13*i,31,320+13*i,459,RGB(180,180,180),1,0);
    for i:=1 to 10 do
        ColorLine(PortsBmp,Image1,321,460-43*i,644,460-
43*i,RGB(180,180,180),1,0);

    CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
Image1.Canvas,Rect(309,25,650,470));

    PortsBmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
Image1.Canvas,Rect(25,30,275,280));

    {Qa:=1325; Qp:=2690; Vyp:=7; Vo:=20; Vy:=2;

    taua:=Qa*(ArcTan(Vo/Vyp)-ArcTan(Vy/Vyp))/Vyp;

    taup:=Qp*(1/(Vy+0.1)-1/Vo);
    Vo:=21;}
    end;

Dd:=1; D:=3; Alf:=45; Kc1:=90; Kc2:=180; {!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!}

```

```

gamb:=Cour(Round(Alf-Arcsin(Dd/D)));
gamn:=Cour(Round(Alf+Arcsin(Dd/D)));
Snb:=sin((Kc2-gamb)/57.3)/sin((Kc1-gamb)/57.3);
Snn:=sin((Kc2-gamn)/57.3)/sin((Kc1-gamn)/57.3);

Sns:=sin((Kc2-Alf)/57.3)/sin((Kc1-Alf)/57.3);

with PortsBmp.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

Brush.Style:=bsClear;

for Vc2:=1 to 25 do
begin
V1b:=Vc2*Snb; V1n:=Vc2*Snn;
Xs:=25+Round(Vc2*10); Ys:=580-Round(V1b*10);
if Vc2=5 then
begin
Gr[1].x:=Xs; Gr[1].y:=Ys;
end;
if Vc2=25 then
begin
Gr[2].x:=Xs; Gr[2].y:=Ys;
end;
{Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xs-2,Ys-2,Xs+2,Ys+2);}

Ys:=580-Round(V1n*10);
{Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,150));
Ellipse(Xs-2,Ys-2,Xs+2,Ys+2);}
if Vc2=5 then
begin
Gr[4].x:=Xs; Gr[4].y:=Ys;
end;
if Vc2=25 then
begin
Gr[3].x:=Xs; Gr[3].y:=Ys;
end;
end;
end;

```

```
Pen.Mode:=pmMask;
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(255,210,200));
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(25,175,25));
```

```
Polygon(Gr);
```

```
Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=330; Gr1[2].x:=75; Gr1[2].y:=330;
```

```
Gr1[3].x:=75; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,200));
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(205,200,150));
```

```
Polygon(Gr1);
```

```
Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=530; Gr1[2].x:=275; Gr1[2].y:=530;
```

```
Gr1[3].x:=275; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
```

```
Polygon(Gr1);
```

```
Pen.Mode:=pmCopy;
```

```
V1b:=5*Sns;
```

```
Xs1:=25+Round(5*10); Ys1:=580-Round(V1b*10);
```

```
V1n:=25*Sns;
```

```
Xs2:=25+Round(25*10); Ys2:=580-Round(V1n*10);
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image1,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2,RGB(150,50,50),1,1);  
end;
```

```
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),  
PortsBmp.Canvas,Rect(25,330,275,580));
```

```
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,320,185,360,RGB(255,255,205),  
RGB(155,155,155),0);
```

```
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,195,320,270,360,RGB(255,255,205),  
RGB(155,155,155),0);
```

```
with Image1.Canvas do
```

```
begin
```

```
Font.Color:=TColor(RGB(20,70,20));
```

```
Font.Size:=10;
```

```
Str(V1,StB);
```

```
TextOut(130,330,'V1= '+StB);
```

```
Str(V2,StB);
```

```
TextOut(215,330,'V2= '+StB);
```

```
end;
```

```
Xs1:=25+Round(V2*10); Ys1:=280-Round(V1*10);
```

```
with Image1.Canvas do
begin
  Pen.Color:=TColor(RGB(50,120,50));
  Brush.Color:=TColor(RGB(150,220,150));
  Ellipse(Xs1-5,Ys1-5,Xs1+5,Ys1+5);
end;
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image1,Xs1,30,Xs1,280,RGB(30,100,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,25,Ys1,275,Ys1,RGB(30,100,30),1,0);
```

```
CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
Image1.Canvas,Rect(25,30,275,280));
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.FormDestroy(Sender: TObject);
begin
  PortsBmp.Free;
  CopyBmp.Free;
  HoldBmp.Free;
  MapBmp.Free;
  Ports1Bmp.Free;
  Copy1Bmp.Free;
end;
```

```
X,
  Y: Integer);
var
  Str1 : string[5];

begin
  {with Image1.Canvas do
  begin
    ColorRect(PortsBmp,Image1,10+7,7,10+35,25,RGB(230,240,250),0);
    Str(X,Str1);
    TextOut(10+10,10,Str1);
```

```

ColorRect(PortsBmp,Image1,10+40,7,10+68,25,
RGB(230,240,250),0);
Str(Y,Str1);
TextOut(10+43,10,Str1);
end;}
Xcn:=X; Ycn:=Y;
end;

```

```

procedure TForm1.ButtonOKClick(Sender: TObject);
label 1,2,3;
var
StS,StA : string[4];
StF : string[10];
StC : string[5];
StD : string[6];
i,Nm,Ind : byte;
j,del1,del2,Xp,Yp :word;
V1p,V2p : real;

```

```

begin
ButtonOK.Enabled:=False;

```

```

if IndOK=1 then
begin
Button7.Enabled:=False;
Button14.Enabled:=False;
Button1.Enabled:=False;
Button2.Enabled:=False;

```

```

{Button3.Enabled:=True;
Button13.Enabled:=True;}

```

```

Qa:=1325; Qp:=2690; Vyp:=7;

```

```

{taua:=Qa*(ArcTan(Vo/Vyp)-ArcTan(Vy/Vyp))/Vyp;

```

```

taup:=Qp*(1/(Vy+0.1)-1/Vo);}

```

```

if IndVs1=0 then tau1:=0;
if IndVs1=1 then
begin
del1:=Round((V1-V1min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin

```

```

V1p:=V1-0.1*j;
taua:=Qa*(ArcTan(V1/Vyp)-ArcTan(V1p/Vyp))/Vyp;
Xp:=320+Round(13*(25-V1p)); Yp:=460-Round(0.86*taua);
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;

```

```

taua:=Qa*(ArcTan(V1/Vyp)-ArcTan(V1y/Vyp))/Vyp; tau1:=taua;
Sa:=(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V1)+Sqr(Vyp))/(Sqr(V1y)+Sqr(Vyp)))/2;
S1:=Sa;
end;
if IndVs1=2 then
begin
del1:=Round((V1-V1min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin
V1p:=V1-0.1*j;
taup:=Qp*(1/(V1p+0.1)-1/V1);
Xp:=320+Round(13*(25-V1p)); Yp:=460-Round(0.86*taup);
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;

taup:=Qp*(1/(V1y+0.1)-1/V1); tau1:=taup;
Sp:=(0.0027754*Qp)*ln(V1/(V1y+0.1));
S1:=Sp;
end;

```

```

if IndVs2=0 then tau2:=0;
if IndVs2=1 then
begin
del1:=Round((V2-V2min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin
V2p:=V2-0.1*j;

```

```

    taua:=Qa*(ArcTan(V2/Vyp)-ArcTan(V2p/Vyp))/Vyp;
    Xp:=320+Round(13*(25-V2p)); Yp:=460-Round(0.86*taua);
    with Image1.Canvas do
        begin
            Pen.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
            Brush.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
            Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
            end;
        end;

    taua:=Qa*(ArcTan(V2/Vyp)-ArcTan(V2y/Vyp))/Vyp; tau2:=taua;
    Sa:=(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V2)+Sqr(Vyp))/(Sqr(V2y)+Sqr(Vyp)))/2;
    S2:=Sa;
    end;
if IndVs2=2 then
    begin
        del1:=Round((V2-V2min)*10);
        for j:=0 to del1 do
            begin
                V2p:=V2-0.1*j;
                taup:=Qp*(1/(V2p+0.1)-1/V2);
                Xp:=320+Round(13*(25-V2p)); Yp:=460-Round(0.86*taup);
                with Image1.Canvas do
                    begin
                        Pen.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
                        Brush.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
                        Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
                        end;
                    end;

                taup:=Qp*(1/(V2y+0.1)-1/V2); tau2:=taup;
                Sp:=(0.0027754*Qp)*ln(V2/(V2y+0.1));
                S2:=Sp;
                end;
        {if IndVs2=3 then
            begin
                taur:=Qa*ln((2*Sqr(V2y)-2*V2*V2y-0.1*(V2y-
                V2))/(0.1*(V2y+V2)))/(2*V2y);
                tau2:=taur;
                Sr:=-(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V2y)-Sqr(V2y+2))/(Sqr(V2y)-Sqr(V2)))/2;
                S2:=Sr;
                end;}
```



```

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Font.Size:=8;
Font.Style=[];
Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));

Str(Round(tau1),StS);
TextOut(160,383,'t1 = '+StS);
StS:=FloatToStr(S1);
TextOut(208,383,'S1 = '+StS);
Str(Round(tau2),StS);
TextOut(160,425,'t2 = '+StS);
StS:=FloatToStr(S2);
TextOut(208,425,'S2 = '+StS);
Xt1:=320+13*(25-V1); Yt1:=460; Xp1:=Xt1; Yp1:=Yt1;
Xt1y:=320+Round(13*(25-V1y)); Yt1y:=460-Round(0.86*tau1);

Xt2:=320+13*(25-V2); Yt2:=460; Xp2:=Xt2; Yp2:=Yt2;
Xt2y:=320+Round(13*(25-V2y)); Yt2y:=460-Round(0.86*tau2);

Pen.Color:=TColor(RGB(150,20,20));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xt1-5,Yt1-5,Xt1+5,Yt1+5);
Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xt2-5,Yt2-5,Xt2+5,Yt2+5);

HoldBmp.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
Image1.Canvas,Rect(309,25,650,470));

Pen.Color:=TColor(RGB(150,20,20));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xt1y-5,Yt1y-5,Xt1y+5,Yt1y+5);
Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xt2y-5,Yt2y-5,Xt2y+5,Yt2y+5);
end;

{óñëíâèà ãñíõñòèìñòè ìàíâðà}
tn1:=0; tn2:=0;

X1o:=0; Y1o:=0; X2o:=D*sin(Alf/57.3); Y2o:=D*cos(Alf/57.3);
if tau1>tau2 then
begin

```

```

        St1:=V1*tn1/3600+S1/10;          St2:=V2*tn2/3600+S2/10+V2y*(tau1-
tau2)/3600;
        taumx:=tau1; taumn:=tau2;
        Smx:=S1; Smn:=S2;
        Kmx:=Kc1; Kmn:=Kc2; Vmx:=V1; Vmn:=V2; Vmny:=V2y;
        end
    else
        begin
            St2:=V2*tn2/3600+S2/10;          St1:=V1*tn1/3600+S1/10+V1y*(tau2-
tau1)/3600;
            taumx:=tau2; taumn:=tau1;
            Smx:=S2; Smn:=S1;
            Kmx:=Kc2; Kmn:=Kc1; Vmx:=V2; Vmn:=V1; Vmny:=V1y;
            end;

        X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
        X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

        DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

        Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

        KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot); Kotp:=Kot; Alfp:=Alft;
        Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));

        Dmn:=Lm; tf:=Round(tn+taumx);
        tmn:=tf+Round(3600*Dt*cos((Alft-Kot)/57.3)/Vot);

        ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,446,98,486,RGB(255,255,255),
            RGB(155,155,155),0);

        ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
            RGB(155,155,155),0);

        with Image1.Canvas do
            begin
                Font.Size:=10;
                Font.Style=[];
                Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
                Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
                StA:=FloatToStr(Lm);
                TextOut(35,456,'Dm= '+StA);

                Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));

```



```

    tau1f:=tau1; tau2f:=tau2;
    V1f:=V1y; V2f:=V2y;
    if sin((Kotp-Alfp)/57.3)>0 then del:=1
    else del:=-1;
    B1:=del*Dd-0.1*Smx*sin((Kotp-Kmx)/57.3)-
    (0.1*Smn+Vmny*(taumx-taumn)*sin((Kotp-Kmn)/57.3)/3600);
    B2:=Vmx*sin((Kotp-Kmx)/57.3)-Vmn*sin((Kotp-Kmn)/57.3);
    tn3:=Round(3600*B1/B2);

    end;

end;

{ColorRect(PortsBmp,Image1,0,0,657,497,RGB(250,255,255),0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,328,0,328,496,RGB(170,170,170),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,0,25,656,25,RGB(170,170,170),1,0);

PortsBmp.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,657,497),
Image1.Canvas,Rect(0,0,657,497));}
end;

if IndOK=2 then
begin
    Button4.Enabled:=False;
    Button5.Enabled:=False;
    Button10.Enabled:=True;
    Button9.Enabled:=True;
end;
end;

procedure TForm1.Button14Click(Sender: TObject);
var
    StC : string[3];

begin
    Vsl:=2;

    if IndOK=1 then
        begin
            Button1.Enabled:=False;
            Button2.Enabled:=False;
            Button3.Enabled:=False;
            if V2y<V2 then
                begin
                    Button1.Enabled:=True;

```

```

Button2.Enabled:=True;
end;

if V2y<V2 then
begin
Button1.Enabled:=True;
Button2.Enabled:=True;
IndVs2:=4;
end
else if V2y>V2 then
begin
IndVs2:=3; OkVs2:=1;
end;

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,80,10));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
if (IndVs2=0) or (IndVs2=3) then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
if IndVs2=0 then
begin
TextOut(120,408,'Ñóáíî 2 ñêîðîñòü íà íáíÿàò');
TextOut(160,425,'t2 = 0');
OkVs2:=1;
end;
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,80));
if IndVs2=3 then TextOut(115,408,'Ñóáíî 2 óââèè÷áíèà ñêîðîñòè');
end;
end;
if OkVs1*OkVs2=1 then ButtonOk.Enabled:=True;
end;
if IndOK=2 then
begin
Button6.Enabled:=True;
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,5,320,20,360,RGB(240,250,250),
              RGB(240,250,250),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,5,362,20,402,RGB(155,155,255),
              RGB(55,55,155),0);

end;
end;

```

```

procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
var
  StC : string[3];

begin
  Vsl:=1;

  if IndOK=1 then
    begin
      Button1.Enabled:=False;
      Button2.Enabled:=False;
      Button3.Enabled:=False;
      if V1y<V1 then
        begin
          Button1.Enabled:=True;
          Button2.Enabled:=True;
          IndVs1:=4;
        end
      else if V1y>V1 then
        begin
          IndVs1:=3; OkVs1:=1;
        end;

      with Image1.Canvas do
        begin
          Font.Color:=TColor(RGB(10,80,10));
          Font.Size:=8;
          Font.Style:=[];
          if (IndVs1=0) or (IndVs1=3) then
            begin
              ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(225,255,255),
                RGB(155,155,155),0);
              if IndVs1=0 then
                begin
                  TextOut(120,366,'Ñóäí 1 ñêîðîñòü íà íáíÿàò');
                  TextOut(160,383,'t1 = 0');
                  OkVs1:=1;
                end;
              Font.Color:=TColor(RGB(10,10,80));
              if IndVs1=3 then TextOut(115,366,'Ñóäí 1 óââèè÷áíèà ñêîðîñòè');
            end;
          end;
          if OkVs1*OkVs2=1 then ButtonOk.Enabled:=True;
        end;
      if IndOK=2 then

```

```

begin
  Button6.Enabled:=True;
  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,5,320,20,360,RGB(255,155,155),
    RGB(155,55,55),0);
  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,5,362,20,402,RGB(240,250,250),
    RGB(240,250,250),0);

  end;
end;

procedure TForm1.ScrollBar1Scroll(Sender: TObject; ScrollCode:
TScrollCode;
  var ScrollPos: Integer);
label 1;

var
  StS : string[4];
  gamb,gamn,Snb,Snn,V1b,V1n,Sns : real;
  Vc2,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2 : word;
  Gr,Gr1: BPt;

  StD : string[6];
  delj : real;
  Pjx,Pjy : word;

begin
  if IndScrl=1 then
    begin
      D:=ScrollPos/10;
      StS:=FloatToStr(D);
      Button16.Caption:='D='+StS;
    end;
  if IndScrl=2 then
    begin
      Alf:=ScrollPos;
      Str(Alf,StS);
      Button17.Caption:='Alf='+StS;
    end;
  if IndScrl=3 then
    begin
      V1:=ScrollPos;
      Str(V1,StS);
      Button18.Caption:='V1='+StS;
    end;
  if IndScrl=4 then

```

```

begin
V2:=ScrollPos;
Str(V2,StS);
Button19.Caption:='V2='+StS;
end;
if IndScrl=5 then
begin
Kc1:=ScrollPos;
Str(Kc1,StS);
Button20.Caption:='K1='+StS;
end;
if IndScrl=6 then
begin
Kc2:=ScrollPos;
Str(Kc2,StS);
Button21.Caption:='K2='+StS;
end;

KotVot(Kc1,Kc2,V1,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D*sin((Alf-Kot)/57.3));
if (Lm<Dd) and (cos((Alf-Kot)/57.3)>0) then Button15.Enabled:=True
else Button15.Enabled:=False;

Image3.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,705,465),
Copy1Bmp.Canvas,Rect(0,0,705,465));

Xn2:=492+Round(55*D*sin(Alf/57.3)/2);
Yn2:=232-Round(55*D*cos(Alf/57.3)/2);
Xn1:=492+Round(55*D*sin((Alf+180)/57.3)/2);
Yn1:=232-Round(55*D*cos((Alf+180)/57.3)/2);

Bv:=10; L1:=12; L2:=4; Lv:=40;
ShipA(PortsBmp,Image3,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xn1,Yn1,Kc1,Xn2,Yn2,Kc2,V1,
V2,0);

with Image3.Canvas do
begin
Pen.Mode:=pmMask;
Pen.Color:=TColor(RGB(120,20,20));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,200));
Ellipse(Xn2-55,Yn2-55,Xn2+55,Yn2+55);
Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Ellipse(Xn2-2,Yn2-2,Xn2+2,Yn2+2);
Ellipse(Xn1-2,Yn1-2,Xn1+2,Yn1+2);

```



```

ColorLine(PortsBmp,Image3,Xn1,Yn1,Xn2,Yn2,RGB(30,30,30),1,0);
Pen.Mode:=pmCopy;
Font.Size:=14;
Font.Color:=RGB(210,30,30);
Brush.Color:=TColor(RGB(230,255,255));
if (Lm<Dd) and (cos((Alf-Kot)/57.3)>0) then
TextOut(90,345,'D A N G E R');
Font.Size:=8;
end;

gamb:=Cour(Round(Alf-Arcsin(Dd/D)));
gamn:=Cour(Round(Alf+Arcsin(Dd/D)));

if (Kc1=gamb) or (Kc1=gamn) or (Kc1=Alf) then
begin
with Image3.Canvas do
begin
Font.Size:=14;
Font.Color:=RGB(30,20,210);
{Brush.Color:=TColor(RGB(230,255,255));}
Brush.Style:=bsClear;
TextOut(40,120,'ÌÀÍÂÐ ÍÂÎÇÏÆÁ');
Font.Size:=8;
end;
goto 1;
end;

Snb:=sin((Kc2-gamb)/57.3)/sin((Kc1-gamb)/57.3);
Snn:=sin((Kc2-gamn)/57.3)/sin((Kc1-gamn)/57.3);

Sns:=sin((Kc2-Alf)/57.3)/sin((Kc1-Alf)/57.3);

Ports1Bmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
Image3.Canvas,Rect(25,30,275,280));

with Ports1Bmp.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

Brush.Style:=bsClear;

for Vc2:=1 to 25 do
begin

```

```

V1b:=Vc2*Snb; V1n:=Vc2*Snn;
Xs:=25+Round(Vc2*10); Ys:=580-Round(V1b*10);
if Vc2=5 then
begin
Gr[1].x:=Xs; Gr[1].y:=Ys;
end;
if Vc2=25 then
begin
Gr[2].x:=Xs; Gr[2].y:=Ys;
end;

Ys:=580-Round(V1n*10);

if Vc2=5 then
begin
Gr[4].x:=Xs; Gr[4].y:=Ys;
end;
if Vc2=25 then
begin
Gr[3].x:=Xs; Gr[3].y:=Ys;
end;
end;

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,210,200));
Pen.Color:=TColor(RGB(25,175,25));
Polygon(Gr);

Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=330; Gr1[2].x:=75; Gr1[2].y:=330;
Gr1[3].x:=75; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,200));
Pen.Color:=TColor(RGB(205,200,150));
Polygon(Gr1);

Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=530; Gr1[2].x:=275; Gr1[2].y:=530;
Gr1[3].x:=275; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Polygon(Gr1);

Pen.Mode:=pmCopy;

V1b:=5*Sns;
Xs1:=25+Round(5*10); Ys1:=580-Round(V1b*10);
V1n:=25*Sns;
Xs2:=25+Round(25*10); Ys2:=580-Round(V1n*10);

```

```
ColorLine(Ports1Bmp,Image3,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2,RGB(150,50,50),1,1);
end;
```

```
Image3.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
Ports1Bmp.Canvas,Rect(25,330,275,580));
```

```
Xs1:=25+Round(V2*10); Ys1:=280-Round(V1*10);
```

```
with Image3.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(50,120,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,220,150));
Ellipse(Xs1-5,Ys1-5,Xs1+5,Ys1+5);
end;
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image3,Xs1,30,Xs1,280,RGB(30,100,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image3,25,Ys1,275,Ys1,RGB(30,100,30),1,0);
```

```
(*t1:=ScrollPos;
Str(Round(t1*120),StrF);
{Panel1.Caption:='t = '+StrF;}
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,657,497),
PortsBmp.Canvas,Rect(0,0,657,497));
delj:=57.3*0.514*DVn*(A*exp(-mo*t1*120)+C*exp(-
h*t1*120)*sin(wd*t1*120+psi/57.3));
Pjx:=35+Round(t1*120/12);
Pjy:=240-Round(delj*9);
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Mode:=pmMask;

Pen.Color:=TColor(RGB(10,10,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(10,10,155));
Ellipse(Pjx-2,Pjy-2,Pjx+2,Pjy+2);

Pen.Color:=TColor(RGB(10,10,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,190));
Ellipse(Pjx-10,Pjy-10,Pjx+10,Pjy+10);

ColorLine(PortsBmp,Image1,Pjx,Pjy,Pjx,430,RGB(10,10,155),1,0);
ColorRect(PortsBmp,Image1,Pjx-15,431,Pjx+22,453,RGB(255,250,190),0);
```

```

if Pjx<334 then
begin
ColorLine(PortsBmp,Image1,Pjx,Pjy,363,Pjy,RGB(10,10,155),1,0);
ColorRect(PortsBmp,Image1,365,Pjy-
10,410,Pjy+10,RGB(255,250,190),0);
end
else
begin
ColorLine(PortsBmp,Image1,Pjx,Pjy,301,Pjy,RGB(10,10,155),1,0);
ColorRect(PortsBmp,Image1,255,Pjy-
10,300,Pjy+10,RGB(255,250,190),0);
end;

```

```

Pen.Mode:=pmCopy;
Brush.Style:=bsClear;
TextOut(Pjx-10,435,StrF);
StD:=FloatToStr(delj);
if Pjx<334 then TextOut(368,Pjy-7,StD)
else TextOut(258,Pjy-7,StD);
end;*)
1: end;

```

```

procedure TForm1.Image1Click(Sender: TObject);
label 1;
var
StB,StC : string[4];
K1c,K2c : Integer;

```

```

begin
IndVs1:=0; IndVs2:=0; OkVs1:=0; OkVs2:=0;

```

```

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
CopyBmp.Canvas,Rect(309,25,650,470));

```

```

Button7.Enabled:=False;
Button14.Enabled:=False;
ButtonOK.Enabled:=False;
Button1.Enabled:=False;
Button2.Enabled:=False;
Button3.Enabled:=False;

```

```

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(240,250,250),
RGB(240,250,250),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(240,250,250),
RGB(240,250,250),0);

```

```

if (Xcn>25) and (Xcn<275) and (Ycn>30) and (Ycn<280) then
begin
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
CopyBmp.Canvas,Rect(25,30,275,280));

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,320,98,360,RGB(255,255,255),
RGB(155,155,155),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,362,98,402,RGB(255,255,255),
RGB(155,155,155),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,404,98,444,RGB(255,255,255),
RGB(155,155,155),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,446,98,486,RGB(255,255,255),
RGB(155,155,155),0);

if Ycn<=280 then V1y:=(280-Ycn)/10;
if Xcn<=275 then V2y:=(Xcn-25)/10;

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D*sin((Alf-Kot)/57.3));

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(255,155,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
StB:=FloatToStr(V1y);
TextOut(35,330,'V1y= '+StB);
StC:=FloatToStr(V2y);
TextOut(35,372,'V2y= '+StC);
Str(Round(Kot),StB);
TextOut(35,414,'Kot= '+StB);

StC:=FloatToStr(Lm);
TextOut(35,456,'Dm= '+StC);

Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,120));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,220));
Ellipse(Xcn-5,Ycn-5,Xcn+5,Ycn+5);
end;

ColorLine(PortsBmp,Image1,Xcn,30,Xcn,280,RGB(80,80,180),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,25,Ycn,275,Ycn,RGB(80,80,180),1,0);

```

```

if (V1y<V1min) or (V2y<V2min) then
begin
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,80,10));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
if V1y<V1min then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
TextOut(115,366,'Nóäí 1, ïòåðý óïðåâëáíë');
end;
if V2y<V2min then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
TextOut(115,408,'Nóäí 2, ïòåðý óïðåâëáíë');
end;
end;
goto 1;
end;

```

```

if (V1y>V1) or (V2y>V2) then
begin
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,80,10));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
if V1y>V1 then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
TextOut(115,366,'Nóäí 1 óååè÷áíå ñêðîñè');
end;
if V2y>V2 then
begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
TextOut(115,408,'Nóäí 2 óååè÷áíå ñêðîñè');
end;
end;

```

```

    goto 1;
end;
if Lm>=Dd then
begin
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(240,250,250),
        RGB(240,250,250),0);
    Button7.Enabled:=True;
    Button14.Enabled:=True;
end
else
begin
1: ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
    RGB(155,155,155),0);
    with Image1.Canvas do
    begin
        Font.Size:=10;
        Font.Style=[];
        Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
        TextOut(125,456,'làíâăđ íääîíóñòèì');
    end;
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
if Vsl=1 then
begin
    IndVs1:=1; OkVs1:=1;
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(225,255,255),
        RGB(155,155,155),0);
    with Image1.Canvas do
    begin
        Font.Size:=8;
        Font.Style=[];
        Font.Color:=TColor(RGB(10,10,80));
        TextOut(120,366,'Ñóăî 1, àêò. òîðîîæáíèà');
    end;
end
else
begin
    IndVs2:=1; OkVs2:=1;
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(225,255,255),
        RGB(155,155,155),0);
    with Image1.Canvas do

```

```

begin
  Font.Size:=8;
  Font.Style:=[];
  Font.Color:=TColor(RGB(10,10,80));
  TextOut(120,408,'Nóäí 2, àêò. òîðîæáíèå');
end;
end;
if OkVs1*OkVs2=1 then ButtonOk.Enabled:=True;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  if Vsl=1 then
    begin
      IndVs1:=2; OkVs1:=1;
      ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,362,270,402,RGB(225,255,255),
        RGB(155,155,155),0);
      with Image1.Canvas do
        begin
          Font.Size:=8;
          Font.Style:=[];
          Font.Color:=TColor(RGB(10,10,80));
          TextOut(120,366,'Nóäí 1, ïàñ. òîðîæáíèå');
        end;
      end
    else
      begin
        IndVs2:=2; OkVs2:=1;
        ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,404,270,444,RGB(225,255,255),
          RGB(155,155,155),0);
        with Image1.Canvas do
          begin
            Font.Size:=8;
            Font.Style:=[];
            Font.Color:=TColor(RGB(10,10,80));
            TextOut(120,408,'Nóäí 2, ïàñ. òîðîæáíèå');
          end;
        end;
      if OkVs1*OkVs2=1 then ButtonOk.Enabled:=True;
      end;

    procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
    var
      StB : string[4];

```



```

begin
  Button3.Enabled:=False;
  Button4.Enabled:=True;
  Button13.Enabled:=False;

  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,404,98,444,RGB(255,255,255),
    RGB(155,155,155),0);
  tn:=0;
  Str(Round(tn),StB);

  with Image1.Canvas do
    begin
      Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
      Font.Size:=10;
      Font.Style:=[];
      TextOut(35,414,'tn = '+StB);
    end;
  end;

  procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
  var
    StB : string[4];
    del1,j,Xp,Yp : word;
    V1p,V2p,toup : real;

  begin
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
      RGB(155,155,155),0);

    ButtonOK.Enabled:=True; IndOK:=2;

    if tn1>tn then
      begin
        tn:=tn+1;
        ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,404,98,444,RGB(255,255,255),
          RGB(155,155,155),0);

        Str(Round(tn),StB);

        if tau1>tau2 then
          begin
            St1:=V1*tn/3600+S1/10;
            St2:=V2*tn/3600+S2/10+V2y*(tau1-tau2)/3600;
          end
        else

```

```

begin
St2:=V2*tn/3600+S2/10;
St1:=V1*tn/3600+S1/10+V1y*(tau2-tau1)/3600;
end;

X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);
Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));

Dmn:=Lm; tf:=Round(tn+taumx);
tmn:=tf+Round(3600*Dt*cos((Alft-Kot)/57.3)/Vot);

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,404,98,444,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Font.Size:=10;
Font.Style=[];
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
TextOut(35,414,'tn = '+StB);
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
StB:=FloatToStr(Lm);
TextOut(35,456,'Dm= '+StB);
end;
end
else
begin
Button4.Enabled:=False;
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
with Image1.Canvas do
begin
Font.Size:=10;
Font.Style=[];
Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
TextOut(113,456,'Îăăăăüüîă çîă÷âîêă tn');
end;

```

```

end;
if tn>0 then Button5.Enabled:=True;

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
CopyBmp.Canvas,Rect(309,25,650,470));

Xt1:=320+13*(25-V1); Yt1:=460-Round(0.86*tn);
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Yt1,645,Yt1,RGB(80,80,180),1,0);
Xt1y:=320+Round(13*(25-V1y)); Yt1y:=460-Round(0.86*(tau1+tn));
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Yt1y,645,Yt1y,RGB(80,80,180),1,0);
Xt2:=320+13*(25-V2); Yt2:=Yt1;

Xt2y:=320+Round(13*(25-V2y)); Yt2y:=460-Round(0.86*(tau2+tn));
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Yt2y,645,Yt2y,RGB(80,80,180),1,0);

Ys:=460-Round(0.86*td);
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Ys,645,Ys,RGB(170,70,70),1,0);

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));

Pen.Color:=TColor(RGB(150,20,20));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xt1-5,Yt1-5,Xt1+5,Yt1+5);
Ellipse(Xt1y-5,Yt1y-5,Xt1y+5,Yt1y+5);

Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xt2-5,Yt2-5,Xt2+5,Yt2+5);
Ellipse(Xt2y-5,Yt2y-5,Xt2y+5,Yt2y+5);
end;

if IndVs1=1 then
begin
del1:=Round((V1-V1min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin
V1p:=V1-0.1*j;
taua:=Qa*(ArcTan(V1/Vyp)-ArcTan(V1p/Vyp))/Vyp;
Xp:=320+Round(13*(25-V1p)); Yp:=460-Round(0.86*(taua+tn));
with Image1.Canvas do

```

```

begin
  Pen.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
  Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
  Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;
end;

if IndVs1=2 then
begin
  del1:=Round((V1-V1min)*10);
  for j:=0 to del1 do
  begin
    V1p:=V1-0.1*j;
    taup:=Qp*(1/(V1p+0.1)-1/V1);
    Xp:=320+Round(13*(25-V1p)); Yp:=460-Round(0.86*(taup+tn));
    with Image1.Canvas do
    begin
      Pen.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
      Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
      Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
    end;
  end;
end;

if IndVs2=1 then
begin
  del1:=Round((V2-V2min)*10);
  for j:=0 to del1 do
  begin
    V2p:=V2-0.1*j;
    taua:=Qa*(ArcTan(V2/Vyp)-ArcTan(V2p/Vyp))/Vyp;
    Xp:=320+Round(13*(25-V2p)); Yp:=460-Round(0.86*(taua+tn));
    with Image1.Canvas do
    begin
      Pen.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
      Brush.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
      Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
    end;
  end;
end;

if IndVs2=2 then
begin
  del1:=Round((V2-V2min)*10);

```

```

for j:=0 to del1 do
begin
V2p:=V2-0.1*j;
taup:=Qp*(1/(V2p+0.1)-1/V2);
Xp:=320+Round(13*(25-V2p)); Yp:=460-Round(0.86*(taup+tn));
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
Brush.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;
end;
end;

procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
var
StB : string[4];
del1,j,Xp,Yp : word;
V1p,V2p,toup : real;

begin
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);

if tn>0 then
begin
tn:=tn-1;
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,404,98,444,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);

Str(Round(tn),StB);

if tau1>tau2 then
begin
St1:=V1*tn/3600+S1/10;
St2:=V2*tn/3600+S2/10+V2y*(tau1-tau2)/3600;
end
else
begin
St2:=V2*tn/3600+S2/10;
St1:=V1*tn/3600+S1/10+V1y*(tau2-tau1)/3600;
end;
end;

```

```

X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);
Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));

Dmn:=Lm; tf:=Round(tn+taumx);
tmn:=tf+Round(3600*Dt*cos((Alft-Kot)/57.3)/Vot);

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,404,98,444,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Font.Size:=10;
Font.Style=[];
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
TextOut(35,414,'tn = '+StB);
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
StB:=FloatToStr(Lm);
TextOut(35,456,'Dm= '+StB);
end;
end
else
begin
Button5.Enabled:=False;
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
with Image1.Canvas do
begin
Font.Size:=10;
Font.Style=[];
Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
TextOut(113,456,'Íóěââîâ çîà÷âíèâ tn');
end;
end;
if tn<tn1 then Button4.Enabled:=True;

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
CopyBmp.Canvas,Rect(309,25,650,470));

```

```

Xt1:=320+13*(25-V1); Yt1:=460-Round(0.86*tn);
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Yt1,645,Yt1,RGB(80,80,180),1,0);
Xt1y:=320+Round(13*(25-V1y)); Yt1y:=460-Round(0.86*(tau1+tn));
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Yt1y,645,Yt1y,RGB(80,80,180),1,0);
Xt2:=320+13*(25-V2); Yt2:=Yt1;

Xt2y:=320+Round(13*(25-V2y)); Yt2y:=460-Round(0.86*(tau2+tn));
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Yt2y,645,Yt2y,RGB(80,80,180),1,0);

Ys:=460-Round(0.86*td);
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Ys,645,Ys,RGB(170,70,70),1,0);

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));

Pen.Color:=TColor(RGB(150,20,20));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xt1-5,Yt1-5,Xt1+5,Yt1+5);
Ellipse(Xt1y-5,Yt1y-5,Xt1y+5,Yt1y+5);

Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xt2-5,Yt2-5,Xt2+5,Yt2+5);
Ellipse(Xt2y-5,Yt2y-5,Xt2y+5,Yt2y+5);
end;

if IndVs1=1 then
begin
del1:=Round((V1-V1min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin
V1p:=V1-0.1*j;
taua:=Qa*(ArcTan(V1/Vyp)-ArcTan(V1p/Vyp))/Vyp;
Xp:=320+Round(13*(25-V1p)); Yp:=460-Round(0.86*(taua+tn));
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;
end;

```

```

end;

if IndVs1=2 then
begin
del1:=Round((V1-V1min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin
V1p:=V1-0.1*j;
taup:=Qp*(1/(V1p+0.1)-1/V1);
Xp:=320+Round(13*(25-V1p)); Yp:=460-Round(0.86*(taup+tn));
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;
end;

if IndVs2=1 then
begin
del1:=Round((V2-V2min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin
V2p:=V2-0.1*j;
taua:=Qa*(ArcTan(V2/Vyp)-ArcTan(V2p/Vyp))/Vyp;
Xp:=320+Round(13*(25-V2p)); Yp:=460-Round(0.86*(taua+tn));
with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
Brush.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;
end;

if IndVs2=2 then
begin
del1:=Round((V2-V2min)*10);
for j:=0 to del1 do
begin
V2p:=V2-0.1*j;
taup:=Qp*(1/(V2p+0.1)-1/V2);
Xp:=320+Round(13*(25-V2p)); Yp:=460-Round(0.86*(taup+tn));
with Image1.Canvas do

```



```

begin
  Pen.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
  Brush.Color:=TColor(RGB(100,150,250));
  Ellipse(Xp-2,Yp-2,Xp+2,Yp+2);
end;
end;
end;

end;

procedure TForm1.Button13Click(Sender: TObject);
var
  StB,StC : string[4];
  Ys : word;

begin
  Image1.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
    HoldBmp.Canvas,Rect(309,25,650,470));
  Image1.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
    CopyBmp.Canvas,Rect(25,30,275,280));
  Ys:=460-Round(0.86*td);
  ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Ys,645,Ys,RGB(170,70,70),1,0);

  Button7.Enabled:=True;
  Button14.Enabled:=True;
  Button13.Enabled:=False;
  Button3.Enabled:=False;

  IndOk:=2;
  tn:=0; tau1:=0; tau2:=0; S1:=0; S2:=0;

  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,404,98,444,RGB(255,255,255),
    RGB(155,155,155),0);
  with Image1.Canvas do
    begin
      Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
      Font.Size:=10;
      Font.Style:=[];
      Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
      TextOut(35,414,'tn = 0');
    end;
  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,320,98,360,RGB(255,255,255),
    RGB(155,155,155),0);
  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,362,98,402,RGB(255,255,255),

```

```

        RGB(155,155,155),0);
V1y:=V1; V2y:=V2;
KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D*sin((Alf-Kot)/57.3));

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(255,155,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
StB:=FloatToStr(V1y);
TextOut(35,330,'V1y= '+StB);
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
StC:=FloatToStr(V2y);
TextOut(35,372,'V2y= '+StC);
StC:=FloatToStr(Lm);
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
TextOut(35,456,'Dm= '+StC);
end;
end;

procedure TForm1.Button9Click(Sender: TObject);
begin
Button3.Enabled:=True;
Button13.Enabled:=True;
{Button10.Enabled:=False;}
Button9.Enabled:=False;
end;

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
var
StB,StC : string[4];
Ys,Xp,Yp : word;

begin
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
HoldBmp.Canvas,Rect(309,25,650,470));
Image1.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
CopyBmp.Canvas,Rect(25,30,275,280));
{Ys:=460-Round(0.86*td);
ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Ys,645,Ys,RGB(170,70,70),1,0);}

with Image1.Canvas do

```

```

begin
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Pen.Color:=TColor(RGB(255,155,155));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));

if Vsl=1 then
begin

if V1y>V1min then
begin
V1y:=V1y-0.5;
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,320,98,360,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);
Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
StB:=FloatToStr(V1y);
TextOut(35,330,'V1y= '+StB);
if V1y<V1 then Button8.Enabled:=True;

Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xp2-5,Yp2-5,Xp2+5,Yp2+5);

if IndVs1=1 then
begin
taua:=Qa*(ArcTan(V1/Vyp)-ArcTan(V1y/Vyp))/Vyp; tau1:=taua;
Xp1:=320+Round(13*(25-V1y)); Yp1:=460-Round(0.86*taua);
Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp1-5,Yp1-5,Xp1+5,Yp1+5);
S1:=(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V1)+Sqr(Vyp))/(Sqr(V1y)+Sqr(Vyp)))/2;
end;

if IndVs1=2 then
begin
taup:=Qp*(1/(V1y+0.1)-1/V1); tau1:=taup;
Xp1:=320+Round(13*(25-V1y)); Yp1:=460-Round(0.86*taup);
Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp1-5,Yp1-5,Xp1+5,Yp1+5);
S1:=(0.0027754*Qp)*ln(V1/(V1y+0.1));
end;

```

```

if tau1>tau2 then
  begin
    St1:=S1/10;
    St2:=S2/10+V2y*(tau1-tau2)/3600;
    taumx:=tau1;
  end
else
  begin
    St2:=S2/10;
    St1:=S1/10+V1y*(tau2-tau1)/3600;
    taumx:=tau2;
  end;

X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);
Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));

Dmn:=Lm; tf:=Round(tn+taumx);
tmn:=tf+Round(3600*Dt*cos((Alft-Kot)/57.3)/Vot);

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
  RGB(155,155,155),0);
StC:=FloatToStr(Lm);
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
TextOut(35,456,'Dm= '+StC);
end
else
  begin
    Button6.Enabled:=False;
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
      RGB(155,155,155),0);
    Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));
    Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
    TextOut(125,456,'Iàíâä åãîõñèì');
  end;
end;
end;

```

```

if Vsl=2 then
begin

if V2y>V2min then
begin
V2y:=V2y-0.5;
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,362,98,402,RGB(255,255,255),
              RGB(155,155,155),0);

Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
StC:=FloatToStr(V2y);
TextOut(35,372,'V2y= '+StC);
if V2y<V2 then Button8.Enabled:=True;

Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp1-5,Yp1-5,Xp1+5,Yp1+5);

if IndVs2=1 then
begin
taua:=Qa*(ArcTan(V2/Vyp)-ArcTan(V2y/Vyp))/Vyp; tau2:=taua;
Xp2:=320+Round(13*(25-V2y)); Yp2:=460-Round(0.86*taua);
Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xp2-5,Yp2-5,Xp2+5,Yp2+5);
S2:=(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V2)+Sqr(Vyp))/(Sqr(V2y)+Sqr(Vyp)))/2;
end;

if IndVs2=2 then
begin
taup:=Qp*(1/(V2y+0.1)-1/V2); tau2:=taup;
Xp2:=320+Round(13*(25-V2y)); Yp2:=460-Round(0.86*taup);
Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xp2-5,Yp2-5,Xp2+5,Yp2+5);
S2:=(0.0027754*Qp)*ln(V2/(V2y+0.1));
end;

if tau1>tau2 then
begin
St1:=S1/10;
St2:=S2/10+V2y*(tau1-tau2)/3600;
taumx:=tau1;
end
else

```

```

begin
  St2:=S2/10;
  St1:=S1/10+V1y*(tau2-tau1)/3600;
  taumx:=tau2;
end;

X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);
Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));

Dmn:=Lm; tf:=Round(tn+taumx);
tmn:=tf+Round(3600*Dt*cos((Alft-Kot)/57.3)/Vot);

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
  RGB(155,155,155),0);
StC:=FloatToStr(Lm);
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
TextOut(35,456,'Dm= '+StC);
end
else
begin
  Button6.Enabled:=False;
  ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
    RGB(155,155,155),0);
  Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));
  Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
  TextOut(125,456,'làíâä ïääïóñòè');
end;
end;
end;

Xs:=25+Round(V2y*10); Ys:=280-Round(V1y*10);

with Image1.Canvas do
begin
  Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
  Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,220));
  Ellipse(Xs-5,Ys-5,Xs+5,Ys+5);

```

```

end;

ColorLine(PortsBmp,Image1,Xs,30,Xs,280,RGB(30,30,100),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,25,Ys,275,Ys,RGB(30,30,100),1,0);
tau1f:=tau1; tau2f:=tau2;
V1f:=V1y; V2f:=V2y;
end;

procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
label 1;
var
  StB,StC : string[4];
  Ys,Xp,Yp : word;

begin
  Image1.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
    HoldBmp.Canvas,Rect(309,25,650,470));
  Image1.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
    CopyBmp.Canvas,Rect(25,30,275,280));
  { Ys:=460-Round(0.86*td);
  ColorLine(PortsBmp,Image1,320,Ys,645,Ys,RGB(170,70,70),1,0);}

  with Image1.Canvas do
    begin
      Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
      Font.Size:=10;
      Font.Style=[];
      Pen.Color:=TColor(RGB(255,155,155));
      Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));

      if Vsl=1 then
        begin
          if V1y<V1 then
            begin
              V1y:=V1y+0.5;
              ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,320,98,360,RGB(255,255,255),
                RGB(155,155,155),0);
              Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
              StB:=FloatToStr(V1y);
              TextOut(35,330,'V1y= '+StB);
              if V1y>V1min then Button6.Enabled:=True;

              Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));

```

```

Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xp2-5,Yp2-5,Xp2+5,Yp2+5);

if IndVs1=1 then
begin
tau:=Qa*(ArcTan(V1/Vyp)-ArcTan(V1y/Vyp))/Vyp; tau1:=tau;
Xp1:=320+Round(13*(25-V1y)); Yp1:=460-Round(0.86*tau);
Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp1-5,Yp1-5,Xp1+5,Yp1+5);
S1:=(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V1)+Sqr(Vyp))/(Sqr(V1y)+Sqr(Vyp)))/2;
end;

if IndVs1=2 then
begin
tau:=Qp*(1/(V1y+0.1)-1/V1); tau1:=tau;
Xp1:=320+Round(13*(25-V1y)); Yp1:=460-Round(0.86*tau);
Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp1-5,Yp1-5,Xp1+5,Yp1+5);
S1:=(0.0027754*Qp)*ln(V1/(V1y+0.1));
end;

if tau1>tau2 then
begin
St1:=S1/10;
St2:=S2/10+V2y*(tau1-tau2)/3600;
taumx:=tau1;
end
else
begin
St2:=S2/10;
St1:=S1/10+V1y*(tau2-tau1)/3600;
taumx:=tau2;
end;

X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);

```



```

Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));

Dmn:=Lm; tf:=Round(tn+taumx);
tmn:=tf+Round(3600*Dt*cos((Alft-Kot)/57.3)/Vot);

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
             RGB(155,155,155),0);
StC:=FloatToStr(Lm);
Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
TextOut(35,456,'Dm= '+StC);
end
else
begin
Button8.Enabled:=False;
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
             RGB(155,155,155),0);
Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));
Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
TextOut(125,456,'lăiâăđ íăăîîóñòè');
end;
end;

if Vsl=2 then
begin

if V2y<V2 then
begin
V2y:=V2y+0.5;
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,25,362,98,402,RGB(255,255,255),
             RGB(155,155,155),0);

Font.Color:=TColor(RGB(10,10,150));
StC:=FloatToStr(V2y);
TextOut(35,372,'V2y= '+StC);
if V2y>V2min then Button6.Enabled:=True;

Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(250,150,150));
Ellipse(Xp1-5,Yp1-5,Xp1+5,Yp1+5);

if IndVs2=1 then
begin
taua:=Qa*(ArcTan(V2/Vyp)-ArcTan(V2y/Vyp))/Vyp; tau2:=taua;

```

```

Xp2:=320+Round(13*(25-V2y)); Yp2:=460-Round(0.86*taua);
Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xp2-5,Yp2-5,Xp2+5,Yp2+5);
S2:=(0.0027754*Qa)*ln((Sqr(V2)+Sqr(Vyp))/(Sqr(V2y)+Sqr(Vyp)))/2;
end;

```

```

if IndVs2=2 then

```

```

begin
tau2:=Qp*(1/(V2y+0.1)-1/V2); tau2:=tau2;
Xp2:=320+Round(13*(25-V2y)); Yp2:=460-Round(0.86*tau2);
Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,250));
Ellipse(Xp2-5,Yp2-5,Xp2+5,Yp2+5);
S2:=(0.0027754*Qp)*ln(V2/(V2y+0.1));
end;

```

```

if tau1>tau2 then

```

```

begin
St1:=S1/10;
St2:=S2/10+V2y*(tau1-tau2)/3600;
taumx:=tau1;
end
else
begin
St2:=S2/10;
St1:=S1/10+V1y*(tau2-tau1)/3600;
taumx:=tau2;
end;

```

```

X1t:=X1o+St1*sin(Kc1/57.3); Y1t:=Y1o+St1*cos(Kc1/57.3);
X2t:=X2o+St2*sin(Kc2/57.3); Y2t:=Y2o+St2*cos(Kc2/57.3);

```

```

DXt:=X2t-X1t; DYt:=Y2t-Y1t;

```

```

Dt:=Sqrt(Sqr(DXt)+Sqr(DYt)); Alft:=Pelg(DXt,DYt);

```

```

KotVot(Kc1,Kc2,V1y,V2y,Kot,Vot);
Lm:=Abs(Dt*sin((Alft-Kot)/57.3));

```

```

Dmn:=Lm; tf:=Round(tn+taumx);
tmn:=tf+Round(3600*Dt*cos((Alft-Kot)/57.3)/Vot);

```

```

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
RGB(155,155,155),0);

```

```

    StC:=FloatToStr(Lm);
    Font.Color:=TColor(RGB(10,10,10));
    Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,255));
    TextOut(35,456,'Dm= '+StC);
    end
else
    begin
    Button8.Enabled:=False;
    ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,446,270,486,RGB(225,255,255),
        RGB(155,155,155),0);
    Brush.Color:=TColor(RGB(225,255,255));
    Font.Color:=TColor(RGB(150,10,10));
    TextOut(125,456,'làíâđ íăîîóñòè');
    end;
end;
end;

Xs:=25+Round(V2y*10); Ys:=280-Round(V1y*10);

with Image1.Canvas do
    begin
    Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
    Brush.Color:=TColor(RGB(150,150,220));
    Ellipse(Xs-5,Ys-5,Xs+5,Ys+5);
    end;

    ColorLine(PortsBmp,Image1,Xs,30,Xs,280,RGB(30,30,100),1,0);
    ColorLine(PortsBmp,Image1,25,Ys,275,Ys,RGB(30,30,100),1,0);

    tau1f:=tau1; tau2f:=tau2;
    V1f:=V1y; V2f:=V2y;
    end;

procedure TForm1.Button10Click(Sender: TObject);
var
    i : byte;
    StA : string[2];
    StB : string[3];
    StS : string[4];

begin
    if IndTimer=0 then
        begin
            IndTimer:=1;

```

```

Panel1.Visible:=True;
Panel2.Visible:=True;
Panel3.Visible:=True;
Panel4.Visible:=True;
Panel5.Visible:=True;
Panel6.Visible:=True;
Panel7.Visible:=True;

```

```

dS1:=0; dS2:=0;

```

```

Button6.Enabled:=False;
Button7.Enabled:=False;
Button8.Enabled:=False;
Button14.Enabled:=False;
Button4.Enabled:=False;
Button5.Enabled:=False;
ButtonOK.Enabled:=False;

```

```

{Button10.Enabled:=False;}
Button9.Enabled:=False;
Image1.Visible:=False;
Image2.Visible:=True;
ColorRect(PortsBmp,Image2,0,0,657,473,RGB(220,230,230),0);
ColorRect(PortsBmp,Image2,5,5,323,323,RGB(240,250,250),0);
ColorRect(PortsBmp,Image2,333,5,651,323,RGB(240,250,250),0);

```

```

MapBmp.Canvas.CopyRect(Rect(5,5,651,323),
Image2.Canvas,Rect(5,5,651,323));

```

```

for i:=0 to 4 do
begin

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image2,5,2+328+i*28,65,2+350+i*28,RGB(255,255,245),0);

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image2,70,2+328+i*28,130,2+350+i*28,RGB(255,255,245),
0);

```

```

end;

```

```

for i:=0 to 2 do

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image2,590,2+328+i*28,650,2+350+i*28,RGB(255,255,245),0);

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image2,135,328,355,470,RGB(250,250,250),0);
ColorRect(PortsBmp,Image2,365,328,585,470,RGB(250,250,250),0);

```

```

{ColorLine(PortsBmp,Image2,5,164,323,164,RGB(30,30,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image2,164,5,164,323,RGB(30,30,30),1,0);}
{D:=5; Alf:=0; Kc1:=90; Kc2:=270;}
Xn2:=164+Round(45*D*sin(Alf/57.3)/2);
Yn2:=164-Round(45*D*cos(Alf/57.3)/2);
Xn1:=164+Round(45*D*sin((Alf+180)/57.3)/2);
Yn1:=164-Round(45*D*cos((Alf+180)/57.3)/2);

```

```

Bv:=8{10}; L1:=9{12}; L2:=3{4}; Lv:=30{40};

```

```

ShipA(PortsBmp,Image2,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xn1,Yn1,Kc1,Xn2,Yn2,Kc2,V1,V2,0
);

```

```

with Image2.Canvas do
begin
Pen.Mode:=pmMask;
Pen.Color:=TColor(RGB(50,150,150));
Brush.Color:=TColor(RGB(220,250,250));
Ellipse(Xn2-45,Yn2-45,Xn2+45,Yn2+45);
Pen.Mode:=pmCopy;

```

```

Font.Color:=TColor(RGB(50,50,70));
Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,245));

```

```

Str(Alf,StS);
TextOut(14,333,'Alf='+StS);
StS:=FloatToStr(D);
TextOut(82,333,'D='+StS);
StS:=FloatToStr(V1);
TextOut(14,361,'V1='+StS);
StS:=FloatToStr(V2);
TextOut(82,361,'V2='+StS);
{V1y:=12.3;}
StS:=FloatToStr(V1y);
TextOut(9,389,'V1y='+StS);
{V2y:=23.9;}
StS:=FloatToStr(V2y);
TextOut(75,389,'V2y='+StS);
Str(Kc1,StS);
TextOut(14,417,'K1='+StS);
Str(Kc2,StS);

```

```

TextOut(82,417,'K2='+StS);
StS:=FloatToStr(Dd);
TextOut(19,445,'Dd='+StS);
{Dmn:=1.16;}
StS:=FloatToStr(Dmn);
TextOut(75,445,'Dmn='+StS);
{tn:=112;}
Str(tn,StS);
TextOut(600,333,'tn='+StS);
{tf:=398;}
Str(tf,StS);
TextOut(600,361,'tf='+StS);
{tmn:=547;}
Str(tmn,StS);
TextOut(600,389,'tmn='+StS);

Brush.Color:=TColor(RGB(250,250,250));

Font.Size:=10;

{V1}

TextOut(148,331,'V1');
TextOut(340,440,'t');

{V2}

TextOut(148+230,331,'V2');
TextOut(340+230,440,'t');

Font.Size:=8;
TextOut(137,346,'25');
for i:=0 to 5 do
begin
  Str(25-5*i,StA);
  TextOut(137,346+20*i,StA);
end;

TextOut(148,455,'0');
for i:=1 to 6 do
begin
  Str(100*i,StB);
  TextOut(142+30*i,455,StB);
end;

```

```
{V2}
```

```
{TextOut(148+230,331,'V2');
TextOut(340+230,440,'t');
```

```
Font.Size:=8;}
TextOut(137+230,346,'25');
for i:=0 to 5 do
begin
Str(25-5*i,StA);
TextOut(137+230,346+20*i,StA);
end;
```

```
TextOut(148+230,455,'0');
for i:=1 to 6 do
begin
Str(100*i,StB);
TextOut(142+30*i+230,455,StB);
end;
end;
```

```
{V1}
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image2,152,350,152,450,RGB(30,30,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image2,152,450,332,450,RGB(30,30,30),1,0);
```

```
for i:=0 to 4 do
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image2,152,350+20*i,332,350+20*i,RGB(170,170,170),1,0)
;
```

```
for i:=1 to 6 do
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image2,152+i*30,350,152+i*30,450,RGB(170,170,170),1,0)
;
```

```
{ColorLine(PortsBmp,Image2,333,164,651,164,RGB(30,30,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image2,492,5,492,323,RGB(30,30,30),1,0);}
```

```
{V2}
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image2,382,350,382,450,RGB(30,30,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image2,382,450,562,450,RGB(30,30,30),1,0);
```

```
for i:=0 to 4 do
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image2,152+230,350+20*i,332+230,350+20*i,RGB(170,170,170),1,0);
```

```
    for i:=1 to 6 do
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image2,152+i*30+230,350,152+i*30+230,450,RGB(170,170,170),1,0);
```

```
    Xn2t:=492+Round(45*D*sin(Alf/57.3)/2);
```

```
    Yn2t:=164-Round(45*D*cos(Alf/57.3)/2);
```

```
    Xn1t:=492+Round(45*D*sin((Alf+180)/57.3)/2);
```

```
    Yn1t:=164-Round(45*D*cos((Alf+180)/57.3)/2);
```

```
    ShipA(PortsBmp,Image2,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,
```

```
        Xn1t,Yn1t,Kc1,Xn2t,Yn2t,Kc2,V1,V2,0);
```

```
with Image2.Canvas do
```

```
begin
```

```
Pen.Mode:=pmMask;
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(250,250,200));
```

```
Ellipse(Xn2t-45,Yn2t-45,Xn2t+45,Yn2t+45);
```

```
Pen.Mode:=pmCopy;
```

```
end;
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
if IndTimer=1 then
```

```
begin
```

```
Timer1.Enabled:=True; IndTimer:=2;
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
if IndTimer=2 then
```

```
begin
```

```
Timer1.Enabled:=False; IndTimer:=1;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Image2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;
```

```
X,
```

```
Y: Integer);
```

```
var
```

```
Str1 : string[5];
```



```

begin
{with Image2.Canvas do
begin
ColorRect(PortsBmp,Image2,10+7,7,10+35,25,RGB(230,240,250),0);
Str(X,Str1);
TextOut(10+10,10,Str1);
ColorRect(PortsBmp,Image2,10+40,7,10+68,25,
RGB(230,240,250),0);
Str(Y,Str1);
TextOut(10+43,10,Str1);
end;
Xcn:=X; Ycn:=Y;}
end;

```

```

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
var
i : byte;
StS : string [4];
bet,Sn,Cs,Dmin : real;
Dr : array[1..4] of real;
Xv1,Yv1,Xv2,Yv2 : word;

```

```

begin
Str(t,StS);
Panel1.Caption:='t = '+StS;

```

```

if t<tn then
begin
V1t:=V1; V2t:=V2;
end
else
begin
if t>tau1f then V1t:=V1f
else
begin
if IndVs1=1 then
begin
bet:=ArcTan(V1/Vyp)-(Vyp*(t-tn))/Qa;
Sn:=sin(bet); Cs:=cos(bet);
V1t:=Vyp*(Sn/Cs);
end;
if IndVs1=2 then
begin
Sn:=1+((V1*(t-tn))/Qp);

```

```

    V1t:=(V1/Sn){-0.1};
    end;
    end;
    if t>tau2f then V2t:=V2f
    else
    begin
    if IndVs2=1 then
    begin
    bet:=ArcTan(V2/Vyp)-(Vyp*(t-tn))/Qa;
    Sn:=sin(bet); Cs:=cos(bet);
    V2t:=Vyp*(Sn/Cs);
    end;
    if IndVs2=2 then
    begin
    Sn:=1+((V2*(t-tn))/Qp);
    V2t:=(V2/Sn){-0.1};
    end;
    end;
    end;

```

```

StS:=FloatToStr(V1t);
Panel2.Caption:='V1t='+StS;

```

```

StS:=FloatToStr(V2t);
Panel3.Caption:='V2t='+StS;
KotVot(Kc1,Kc2,V1t,V2t,Kot,Vot);
StS:=FloatToStr(Kot);
Panel4.Caption:='Kot='+StS;
StS:=FloatToStr(Vot);
Panel5.Caption:='Vot='+StS;

```

```

dS1:=dS1+V1t/3600; dS2:=dS2+V2t/3600;
dX1:=dS1*sin(Kc1/57.3); dY1:=dS1*cos(Kc1/57.3);
dX2:=D*sin(Alf/57.3)+dS2*sin(Kc2/57.3);
dY2:=D*cos(Alf/57.3)+dS2*cos(Kc2/57.3);
delX:=dX2-dX1; delY:=dY2-dY1;
Dt:=Distn(delX,delY); Alft:=Pelg(delX,delY);

```

```

StS:=FloatToStr(Dt);
Panel6.Caption:='Dt='+StS;
StS:=FloatToStr(Alft);
Panel7.Caption:='Alft='+StS;

```

```

X1tr:=Xn1t+Round(45*dX1);
Y1tr:=Yn1t-Round(45*dY1);
X2tr:=Xn2t+Round(45*dS2*sin(Kc2/57.3));
Y2tr:=Yn2t-Round(45*dS2*cos(Kc2/57.3));

Image2.Canvas.CopyRect(Rect(5,5,651,323),
MapBmp.Canvas,Rect(5,5,651,323));

ShipA(PortsBmp,Image2,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,
      X1tr,Y1tr,Kc1,X2tr,Y2tr,Kc2,V1,V2,0);

X1rl:=Xn2+Round(45*Dt*sin((Alft+180)/57.3));
Y1rl:=Yn2-Round(45*Dt*cos((Alft+180)/57.3));
ShipA(PortsBmp,Image2,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,
      X1rl,Y1rl,Kc1,Xn2,Yn2,Kc2,V1,V2,0);

with Image2.Canvas do
begin
  Pen.Mode:=pmMask;

  Pen.Color:=TColor(RGB(50,150,150));
  Brush.Color:=TColor(RGB(220,250,250));
  Ellipse(Xn2-45,Yn2-45,Xn2+45,Yn2+45);

  Pen.Color:=TColor(RGB(150,50,50));
  Brush.Color:=TColor(RGB(250,250,200));
  Ellipse(X2tr-45,Y2tr-45,X2tr+45,Y2tr+45);

  Pen.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
  Brush.Color:=TColor(RGB(50,50,150));
  Ellipse(X1tr-2,Y1tr-2,X1tr+2,Y1tr+2);
  Ellipse(X1rl-2,Y1rl-2,X1rl+2,Y1rl+2);

  Pen.Mode:=pmCopy;

  if t<=600 then
  begin
    Xv1:=152+Round(0.3*t); Yv1:=450-Round(4*V1t);
    Pen.Color:=TColor(RGB(200,120,120));
    Brush.Color:=TColor(RGB(200,120,120));
    Ellipse(Xv1-2,Yv1-2,Xv1+2,Yv1+2);
    Xv2:=382+Round(0.3*t); Yv2:=450-Round(4*V2t);
    Pen.Color:=TColor(RGB(120,120,200));
    Brush.Color:=TColor(RGB(120,120,200));
    Ellipse(Xv2-2,Yv2-2,Xv2+2,Yv2+2);
  end
end

```

```

    end;

    end;

    Dr[1]:=Distn(0,Y1rl-5);  Dr[2]:=Distn(323-X1rl,0);    Dr[3]:=Distn(0,Y1rl-
323);
    Dr[4]:=Distn(5-X1rl,0);

    Dmin:=350;
    for i:=1 to 4 do
    begin
    if Dr[i]<Dmin then Dmin:=Dr[i];
    end;

    ColorLine(PortsBmp,Image2,X1rl,Y1rl,X1rl+Round(Dmin*sin(Kot/57.3)),
              Y1rl-Round(Dmin*cos(Kot/57.3)),RGB(30,130,30),1,0);

    t:=t+1;
    if t>=tmn+1 then Timer1.Enabled:=False;
    end;

    procedure TForm1.Image3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;
X,
    Y: Integer);

    var
    Str1 : string[5];

    begin
    {with Image3.Canvas do
    begin
    ColorRect(PortsBmp,Image3,10+7,7,10+35,25,RGB(250,250,250),0);
    Str(X,Str1);
    TextOut(10+10,10,Str1);
    ColorRect(PortsBmp,Image3,10+40,7,10+68,25,
    RGB(250,250,250),0);
    Str(Y,Str1);
    TextOut(10+43,10,Str1);
    end;
    Xcn:=X; Ycn:=Y;}
    end;

    procedure TForm1.Button11Click(Sender: TObject);
    var

```

```

StA : string[2];
StS : string[4];
i: byte;
gamb,gamn,Snb,Snn,V1b,V1n,Sns : real;
Vc2,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2 : word;
Gr,Gr1: BPt;

begin
Button15.Enabled:=True;

if Nsit<10 then Nsit:=Nsit+1
else Nsit:=1;

Str(Nsit,StA);
Button11.Caption:='Ñèòóàö.'+StA;


case Nsit of
1 : begin
    D:=3; Alf:=45; V1:=18; V2:=21; Kc1:=90; Kc2:=180;
    end;
2 : begin
    D:=4.8; Alf:=300; V1:=15; V2:=18; Kc1:=330; Kc2:=102;
    end;
3 : begin
    D:=4.3; Alf:=283; V1:=18; V2:=20; Kc1:=247; Kc2:=148;
    end;
4 : begin
    D:=5; Alf:=229; V1:=18; V2:=19; Kc1:=267; Kc2:=24;
    end;
5 : begin
    D:=3.7; Alf:=166; V1:=19; V2:=22; Kc1:=199; Kc2:=320;
    end;
6 : begin
    D:=2.9; Alf:=266; V1:=17; V2:=22; Kc1:=296; Kc2:=87;
    end;
7 : begin
    D:=3.5; Alf:=229; V1:=15; V2:=18; Kc1:=188; Kc2:=84;
    end;
8 : begin
    D:=4.3; Alf:=176; V1:=16; V2:=22; Kc1:=138; Kc2:=31;
    end;
9 : begin
    D:=5; Alf:=304; V1:=15; V2:=18; Kc1:=343; Kc2:=82;

```

```

    end;
10: begin
    D:=3.5; Alf:=214; V1:=17; V2:=20; Kc1:=264; Kc2:=354;
    end;
end;

Image3.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,705,465),
Copy1Bmp.Canvas,Rect(0,0,705,465));

Xn2:=492+Round(55*D*sin(Alf/57.3)/2);
Yn2:=232-Round(55*D*cos(Alf/57.3)/2);
Xn1:=492+Round(55*D*sin((Alf+180)/57.3)/2);
Yn1:=232-Round(55*D*cos((Alf+180)/57.3)/2);

Bv:=10; L1:=12; L2:=4; Lv:=40;
ShipA(PortsBmp,Image3,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xn1,Yn1,Kc1,Xn2,Yn2,Kc2,V1,
V2,0);

for i:=0 to 3 do
begin

ColorRect(PortsBmp,Image3,70,2+328+i*28,130,2+350+i*28,RGB(255,255,245),
0);

ColorRect(PortsBmp,Image3,135,2+328+i*28,195,2+350+i*28,RGB(255,255,245
),0);

    end;

KotVot(Kc1,Kc2,V1,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D*sin((Alf-Kot)/57.3));

with Image3.Canvas do
begin
    Pen.Mode:=pmMask;
    Pen.Color:=TColor(RGB(120,20,20));
    Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,200));
    Ellipse(Xn2-55,Yn2-55,Xn2+55,Yn2+55);
    Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
    Ellipse(Xn2-2,Yn2-2,Xn2+2,Yn2+2);
    Ellipse(Xn1-2,Yn1-2,Xn1+2,Yn1+2);
    ColorLine(PortsBmp,Image3,Xn1,Yn1,Xn2,Yn2,RGB(30,30,30),1,0);
    Pen.Mode:=pmCopy;

    Font.Color:=TColor(RGB(50,50,70));

```

```

Font.Size:=8;
Font.Style:=[];
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,245));

Str(Alf,StS);
TextOut(14+65,333,'Alf='+StS);
StS:=FloatToStr(D);
TextOut(82+65,333,'D='+StS);
StS:=FloatToStr(V1);
TextOut(14+65,361,'V1='+StS);
StS:=FloatToStr(V2);
TextOut(82+65,361,'V2='+StS);
StS:=FloatToStr(Kc1);
TextOut(12+65,389,'K1='+StS);
StS:=FloatToStr(Kc2);
TextOut(78+65,389,'K2='+StS);
StS:=FloatToStr(Dd);
TextOut(14+65,417,'Dd='+StS);
StS:=FloatToStr(Lm);
TextOut(74+65,417,'Dmn='+StS);
end;

ColorLine(PortsBmp,Image3,Xn1,Yn1,Xn1+Round((55*D+50)*sin(Kot/57.3
)),
Yn1-Round((55*D+50)*cos(Kot/57.3)),RGB(30,130,30),1,0);

gamb:=Cour(Round(Alf-Arcsin(Dd/D)));
gamn:=Cour(Round(Alf+Arcsin(Dd/D)));
Snb:=sin((Kc2-gamb)/57.3)/sin((Kc1-gamb)/57.3);
Snn:=sin((Kc2-gamn)/57.3)/sin((Kc1-gamn)/57.3);

Sns:=sin((Kc2-Alf)/57.3)/sin((Kc1-Alf)/57.3);

{Ports1Bmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
Image3.Canvas,Rect(25,30,275,280));}

ColorRect(Ports1Bmp,Image3,25,330,275,580,RGB(255,255,255),1{0});
for i:=1 to 24 do
  ColorLine(Ports1Bmp,Image3,26,580-10*i,274,580-
10*i,RGB(180,180,180),1,1{0});
  for i:=1 to 24 do
    ColorLine(Ports1Bmp,Image3,25+10*i,331,25+10*i,579,RGB(180,180,180),
1,1{0});

with Ports1Bmp.Canvas do

```

```

begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

Brush.Style:=bsClear;

for Vc2:=1 to 25 do
begin
V1b:=Vc2*Snb; V1n:=Vc2*Snn;
Xs:=25+Round(Vc2*10); Ys:=580-Round(V1b*10);
if Vc2=5 then
begin
Gr[1].x:=Xs; Gr[1].y:=Ys;
end;
if Vc2=25 then
begin
Gr[2].x:=Xs; Gr[2].y:=Ys;
end;

Ys:=580-Round(V1n*10);

if Vc2=5 then
begin
Gr[4].x:=Xs; Gr[4].y:=Ys;
end;
if Vc2=25 then
begin
Gr[3].x:=Xs; Gr[3].y:=Ys;
end;
end;

Pen.Mode:=pmMask;

Brush.Color:=TColor(RGB(255,210,200));
Pen.Color:=TColor(RGB(25,175,25));
Polygon(Gr);

Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=330; Gr1[2].x:=75; Gr1[2].y:=330;
Gr1[3].x:=75; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,200));
Pen.Color:=TColor(RGB(205,200,150));
Polygon(Gr1);

Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=530; Gr1[2].x:=275; Gr1[2].y:=530;

```



```
Gr1[3].x:=275; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Polygon(Gr1);
```

```
Pen.Mode:=pmCopy;
```

```
V1b:=5*Sns;
Xs1:=25+Round(5*10); Ys1:=580-Round(V1b*10);
V1n:=25*Sns;
Xs2:=25+Round(25*10); Ys2:=580-Round(V1n*10);
```

```
ColorLine(Ports1Bmp,Image3,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2,RGB(150,50,50),1,1);
end;
```

```
Image3.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
Ports1Bmp.Canvas,Rect(25,330,275,580));
```

```
Xs1:=25+Round(V2*10); Ys1:=280-Round(V1*10);
```

```
with Image3.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(50,120,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,220,150));
Ellipse(Xs1-5,Ys1-5,Xs1+5,Ys1+5);
end;
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image3,Xs1,30,Xs1,280,RGB(30,100,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image3,25,Ys1,275,Ys1,RGB(30,100,30),1,0);
```

```
{CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
Image1.Canvas,Rect(25,30,275,280));}
end;
```

```
procedure TForm1.Button15Click(Sender: TObject);
var
i : byte;
StS,StB : string[4];
gamb,gamn,Snb,Snn,V1b,V1n,Sns : real;
Vc2,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2 : word;
Gr,Gr1: BPT;
```

```
begin
Button11.Visible:=False;
Button12.Visible:=False;
Button15.Visible:=False;
Button16.Visible:=False;
```

```

Button17.Visible:=False;
Button18.Visible:=False;
Button19.Visible:=False;
Button20.Visible:=False;
Button21.Visible:=False;

```

```

Button7.Visible:=True;
Button14.Visible:=True;
ButtonOK.Visible:=True;
Button1.Visible:=True;
Button2.Visible:=True;
Button3.Visible:=True;
Button4.Visible:=True;
Button5.Visible:=True;
Button13.Visible:=True;
Button8.Visible:=True;
Button6.Visible:=True;
Button9.Visible:=True;
Button10.Visible:=True;

```

```

ScrollBar1.Visible:=False;
Image3.Visible:=False;

```

```

Image1.Visible:=True;

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image1,0,0,657,497,RGB(240,250,250),0);

```

```

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];
Brush.Style:=bsClear;

```

```

ColorRect(PortsBmp,Image1,25,30,275,280,RGB(255,255,255),0);
Font.Size:=8;
Brush.Style:=bsClear;

```

```

for i:=0 to 12 do
begin
Str(2*i,StS);
TextOut(5,273-20*i,StS);
end;
for i:=0 to 12 do
begin

```

```

    Str(2*i,StS);
    TextOut(20+20*i,290,StS);
    end;

    for i:=1 to 24 do
        ColorLine(PortsBmp,Image1,26,280-10*i,274,280-
10*i,RGB(180,180,180),1,0);
        for i:=1 to 24 do

ColorLine(PortsBmp,Image1,25+10*i,31,25+10*i,279,RGB(180,180,180),1,0);

        ColorRect(PortsBmp,Image1,320,30,645,460,RGB(240,250,250),0);
        for i:=0 to 10 do
            begin
                Str(50*i,StS);
                TextOut(288,460-43*i,StS);
            end;
        for i:=0 to 12 do
            begin
                Str(25-2*i,StS);
                TextOut(315+26*i,472,StS);
            end;

        for i:=1 to 24 do

ColorLine(PortsBmp,Image1,320+13*i,31,320+13*i,459,RGB(180,180,180),1,0);
        for i:=1 to 10 do
            ColorLine(PortsBmp,Image1,321,460-43*i,644,460-
43*i,RGB(180,180,180),1,0);

        CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(309,25,650,470),
Image1.Canvas,Rect(309,25,650,470));

        PortsBmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
Image1.Canvas,Rect(25,30,275,280));
        end;

        gamb:=Cour(Round(Alf-Arcsin(Dd/D)));
        gamn:=Cour(Round(Alf+Arcsin(Dd/D)));
        Snb:=sin((Kc2-gamb)/57.3)/sin((Kc1-gamb)/57.3);
        Snn:=sin((Kc2-gamn)/57.3)/sin((Kc1-gamn)/57.3);

        Sns:=sin((Kc2-Alf)/57.3)/sin((Kc1-Alf)/57.3);

```

```

with PortsBmp.Canvas do
begin
  Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
  Font.Size:=10;
  Font.Style:=[];

  Brush.Style:=bsClear;

  for Vc2:=1 to 25 do
    begin
      V1b:=Vc2*Snb; V1n:=Vc2*Snn;
      Xs:=25+Round(Vc2*10); Ys:=580-Round(V1b*10);
      if Vc2=5 then
        begin
          Gr[1].x:=Xs; Gr[1].y:=Ys;
          end;
        if Vc2=25 then
          begin
            Gr[2].x:=Xs; Gr[2].y:=Ys;
            end;

            Ys:=580-Round(V1n*10);

            if Vc2=5 then
              begin
                Gr[4].x:=Xs; Gr[4].y:=Ys;
                end;
              if Vc2=25 then
                begin
                  Gr[3].x:=Xs; Gr[3].y:=Ys;
                  end;
                end;
              end;

            Pen.Mode:=pmMask;

            Brush.Color:=TColor(RGB(255,210,200));
            Pen.Color:=TColor(RGB(25,175,25));
            Polygon(Gr);

            Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=330; Gr1[2].x:=75; Gr1[2].y:=330;
            Gr1[3].x:=75; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
            Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,200));
            Pen.Color:=TColor(RGB(205,200,150));
            Polygon(Gr1);

```

```

Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=530; Gr1[2].x:=275; Gr1[2].y:=530;
Gr1[3].x:=275; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
Polygon(Gr1);

Pen.Mode:=pmCopy;

V1b:=5*Sns;
Xs1:=25+Round(5*10); Ys1:=580-Round(V1b*10);
V1n:=25*Sns;
Xs2:=25+Round(25*10); Ys2:=580-Round(V1n*10);

ColorLine(PortsBmp,Image1,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2,RGB(150,50,50),1,1);
end;

Image1.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
PortsBmp.Canvas,Rect(25,330,275,580));

ColorRectBor(PortsBmp,Image1,110,320,185,360,RGB(255,255,205),
RGB(155,155,155),0);
ColorRectBor(PortsBmp,Image1,195,320,270,360,RGB(255,255,205),
RGB(155,155,155),0);

with Image1.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,70,20));

Font.Size:=10;
Str(V1,StB);
TextOut(130,330,'V1= '+StB);
Str(V2,StB);
TextOut(215,330,'V2= '+StB);
end;

Xs1:=25+Round(V2*10); Ys1:=280-Round(V1*10);

with Image1.Canvas do
begin
Pen.Color:=TColor(RGB(50,120,50));
Brush.Color:=TColor(RGB(150,220,150));
Ellipse(Xs1-5,Ys1-5,Xs1+5,Ys1+5);
end;

ColorLine(PortsBmp,Image1,Xs1,30,Xs1,280,RGB(30,100,30),1,0);
ColorLine(PortsBmp,Image1,25,Ys1,275,Ys1,RGB(30,100,30),1,0);

```

```
CopyBmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
Image1.Canvas,Rect(25,30,275,280));
end;
```

```
procedure TForm1.Button12Click(Sender: TObject);
var
  StS : string[4];
  gamb,gamn,Snb,Snn,V1b,V1n,Sns : real;
  Vc2,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2 : word;
  Gr,Gr1: BPt;
```

```
begin
  Button16.Enabled:=True;
  Button17.Enabled:=True;
  Button18.Enabled:=True;
  Button19.Enabled:=True;
  Button20.Enabled:=True;
  Button21.Enabled:=True;
```

```
Image3.Canvas.CopyRect(Rect(0,0,705,465),
Copy1Bmp.Canvas,Rect(0,0,705,465));
```

```
D:=3.5; Alf:=315; Kc1:=0; Kc2:=90; V1:=15; V2:=18;
```

```
StS:=FloatToStr(D);
Button16.Caption:='D='+StS;
Str(Alf,StS);
Button17.Caption:='Alf='+StS;
Str(V1,StS);
Button18.Caption:='V1='+StS;
Str(V2,StS);
Button19.Caption:='V2='+StS;
Str(Kc1,StS);
Button20.Caption:='K1='+StS;
Str(Kc2,StS);
Button21.Caption:='K2='+StS;
```

```
KotVot(Kc1,Kc2,V1,V2,Kot,Vot);
Lm:=Abs(D*sin((Alf-Kot)/57.3));
if Lm<Dd then
begin
  Button15.Enabled:=True;
```

```
end;
```

```

Xn2:=492+Round(55*D*sin(Alf/57.3)/2);
Yn2:=232-Round(55*D*cos(Alf/57.3)/2);
Xn1:=492+Round(55*D*sin((Alf+180)/57.3)/2);
Yn1:=232-Round(55*D*cos((Alf+180)/57.3)/2);

```

```

Bv:=10; L1:=12; L2:=4; Lv:=40;
ShipA(PortsBmp,Image3,2,1,0,Lv,Bv,L1,L2,Xn1,Yn1,Kc1,Xn2,Yn2,Kc2,V1,
V2,0);

```

```

with Image3.Canvas do
begin
Pen.Mode:=pmMask;
Pen.Color:=TColor(RGB(120,20,20));
Brush.Color:=TColor(RGB(255,255,200));
Ellipse(Xn2-55,Yn2-55,Xn2+55,Yn2+55);
Pen.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Ellipse(Xn2-2,Yn2-2,Xn2+2,Yn2+2);
Ellipse(Xn1-2,Yn1-2,Xn1+2,Yn1+2);
ColorLine(PortsBmp,Image3,Xn1,Yn1,Xn2,Yn2,RGB(30,30,30),1,0);
Pen.Mode:=pmCopy;
end;

```

```

gamb:=Cour(Round(Alf-Arcsin(Dd/D)));
gamn:=Cour(Round(Alf+Arcsin(Dd/D)));
Snb:=sin((Kc2-gamb)/57.3)/sin((Kc1-gamb)/57.3);
Snn:=sin((Kc2-gamn)/57.3)/sin((Kc1-gamn)/57.3);

```

```

Sns:=sin((Kc2-Alf)/57.3)/sin((Kc1-Alf)/57.3);

```

```

Ports1Bmp.Canvas.CopyRect(Rect(25,330,275,580),
Image3.Canvas,Rect(25,30,275,280));

```

```

with Ports1Bmp.Canvas do
begin
Font.Color:=TColor(RGB(20,20,20));
Font.Size:=10;
Font.Style:=[];

```

```

Brush.Style:=bsClear;

```

```

for Vc2:=1 to 25 do
begin
V1b:=Vc2*Snb; V1n:=Vc2*Snn;
Xs:=25+Round(Vc2*10); Ys:=580-Round(V1b*10);
if Vc2=5 then

```

```

begin
  Gr[1].x:=Xs; Gr[1].y:=Ys;
end;
if Vc2=25 then
  begin
    Gr[2].x:=Xs; Gr[2].y:=Ys;
  end;

  Ys:=580-Round(V1n*10);

  if Vc2=5 then
    begin
      Gr[4].x:=Xs; Gr[4].y:=Ys;
    end;
    if Vc2=25 then
      begin
        Gr[3].x:=Xs; Gr[3].y:=Ys;
      end;
    end;

  Pen.Mode:=pmMask;

  Brush.Color:=TColor(RGB(255,210,200));
  Pen.Color:=TColor(RGB(25,175,25));
  Polygon(Gr);

  Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=330; Gr1[2].x:=75; Gr1[2].y:=330;
  Gr1[3].x:=75; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
  Brush.Color:=TColor(RGB(255,250,200));
  Pen.Color:=TColor(RGB(205,200,150));
  Polygon(Gr1);

  Gr1[1].x:=25; Gr1[1].y:=530; Gr1[2].x:=275; Gr1[2].y:=530;
  Gr1[3].x:=275; Gr1[3].y:=580; Gr1[4].x:=25; Gr1[4].y:=580;
  Polygon(Gr1);

  Pen.Mode:=pmCopy;

  V1b:=5*Sns;
  Xs1:=25+Round(5*10); Ys1:=580-Round(V1b*10);
  V1n:=25*Sns;
  Xs2:=25+Round(25*10); Ys2:=580-Round(V1n*10);

  ColorLine(Ports1Bmp,Image3,Xs1,Ys1,Xs2,Ys2,RGB(150,50,50),1,1);
end;

```



```
Image3.Canvas.CopyRect(Rect(25,30,275,280),
Ports1Bmp.Canvas,Rect(25,330,275,580));
```

```
Xs1:=25+Round(V2*10); Ys1:=280-Round(V1*10);
```

```
with Image3.Canvas do
```

```
begin
```

```
Pen.Color:=TColor(RGB(50,120,50));
```

```
Brush.Color:=TColor(RGB(150,220,150));
```

```
Ellipse(Xs1-5,Ys1-5,Xs1+5,Ys1+5);
```

```
end;
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image3,Xs1,30,Xs1,280,RGB(30,100,30),1,0);
```

```
ColorLine(PortsBmp,Image3,25,Ys1,275,Ys1,RGB(30,100,30),1,0);
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Button16Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
ScrollBar1.Enabled:=True;
```

```
ScrollBar1.Max:=50;
```

```
ScrollBar1.Min:=0;
```

```
ScrollBar1.Position:=Round(D*10);
```

```
IndScrl:=1;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Button17Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
ScrollBar1.Enabled:=True;
```

```
ScrollBar1.Max:=360;
```

```
ScrollBar1.Min:=0;
```

```
ScrollBar1.Position:=Alf;
```

```
IndScrl:=2;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Button18Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
ScrollBar1.Enabled:=True;
```

```
ScrollBar1.Max:=25;
```

```
ScrollBar1.Min:=0;
```

```
ScrollBar1.Position:=V1;
```

```
IndScrl:=3;
```

end;

```
procedure TForm1.Button19Click(Sender: TObject);
begin
  ScrollBar1.Enabled:=True;
  ScrollBar1.Max:=25;
  ScrollBar1.Min:=0;
  ScrollBar1.Position:=V2;
  IndScrl:=4;
end;
```

```
procedure TForm1.Button20Click(Sender: TObject);
begin
  ScrollBar1.Enabled:=True;
  ScrollBar1.Max:=360;
  ScrollBar1.Min:=0;
  ScrollBar1.Position:=Kc1;
  IndScrl:=5;
end;
```

```
procedure TForm1.Button21Click(Sender: TObject);
begin
  ScrollBar1.Enabled:=True;
  ScrollBar1.Max:=360;
  ScrollBar1.Min:=0;
  ScrollBar1.Position:=Kc2;
  IndScrl:=6;
end;
```

end.